



## 저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사 학위논문

석탄소비량과 경제성장지표 간의  
장기적 균형관계에 대한 국제비교 연구

An International Comparison on  
Co-integration and Causal Relationship between  
Coal Consumption and Economic Growth

2016 년 2 월

서울대학교 대학원

에너지시스템공학부

김 기 열

## 국문초록

본 논문에서는 국가별 석탄소비량과 경제성장간의 장기적 균형관계에 대하여 두 가지 가설을 세우고, 이를 총 31개 국가의 자료를 대상으로 실증분석하고 그 결과를 비교하였다. Jinke *et al.* (2008) 및 Wolde-Rufael (2010) 등 기존의 국제비교 연구에서는 주로 경제규모나 석탄소비량을 기준으로 비교하였으나 대부분 유의미한 이유를 도출하지 못하였다. 이에, 본 논문은 두 변수간의 장기적 균형관계와 인과관계를 결정하는 요인이 국제적 환경규제와 국가별 석탄발전량 변화라는 두 가지 가설을 세우고 이를 통하여 두 변수간의 장기적 균형관계를 확인하고, 인과관계가 국가별로 상이하게 나타나는 이유를 분석하는데 연구의 목표를 두었다.

연구에 사용된 자료는 총 31개 국가의 1980년부터 2012년까지의 연간자료를 이용하였다. 석탄소비량 자료는 미국에너지정보국(EIA)의 자료를 이용하였고, 경제성장 지표로는 국제통화기금(IMF)이 발행하는 실질 GDP자료를 이용하였다. 장기적 균형관계 및 인과관계 분석에 사용한 분석모형은 VAR모형과 VECM을 채택하여 그 결과를 종합적으로 판단하였다. 분석결과 경제성장이 석탄소비를 증가시키는 단방향 인과관계가 존재하는 국가가 6개, 반대 방향으로 단방향 인과관계를 나타낸 국가가 8개로 나타났다. 또한, 브라질, 폴란드, 남아공 등 3개국은 두 변수가 상호 인과하는 양방향 인과관계를 갖는 것으로 나타났으며 나머지 14개 국가에서는 두 변수 간에 특별한 인과관계가 나타나지 않았다.

국가별로 상이한 인과관계의 원인을 분석하기 위한 국제비교분석은 다음의 두 가지 가설을 기반으로 진행되었다. 첫 번째 가설은 국제적 환경규제의 유무가 인과관계에 영향을 줄 것이라고 설정하였다. 대상인 국제적 환경규제로는 기후변화협약을 선정하였

으며, 비교결과 국제적 환경규제가 있는 12개 국가 중 10개 국가에서 두 변수 간의 인과관계가 존재하지 않는다는 것을 확인할 수 있었고, 환경규제가 없는 19개 국가 중 15개 국가가 두 변수 간의 인과관계가 존재한다는 것을 알 수 있었다. 즉, 기후변화협약과 같은 국제적 환경규제의 유무가 국가별로 두 변수 간의 인과관계 유무에 상당한 영향을 주고 있음을 확인하였다.

두 번째 가설은 각 국가별 발전부문에서 석탄화력발전이 차지하는 비중의 변화가 인과관계에 영향을 줄 것이라고 설정하였다. 이 비교를 통해 석탄화력발전의 평균변화율이 음수이며 변동률이 작은 5개 국가 중 4개 국가에서 석탄소비가 경제성장을 인과하는 방향의 인과관계가 존재한다는 것을 알 수 있었다. 또, 평균변화율이 음수이며, 변동률이 큰 국가들은 두 변수 간에 인과관계가 존재하지 않는 것을 확인하였다. 반대로, 평균변화율이 양수이며 변동률이 작은 6개 국가 중 4개 국가에서 석탄소비의 증가가 경제성장을 야기하는 방향으로 인과관계가 존재한다는 것을 알 수 있었다. 하지만, 평균변화율이 양수이며 변동률이 큰 6개 국가들은 다양한 인과관계 결과가 혼재되어 있었다. 즉, 해당 그룹은 특별한 경향성을 찾는데 실패하였다. 이 비교를 통해 각 국가의 석탄화력 등 전원구성의 변화가 인과관계의 방향과 크기에 영향을 주었을 가능성이 크다는 것을 확인하였다.

본 논문의 국제비교연구 결과는 석탄사용량과 경제성장간의 장기적인 관계에 대한 연구에서 환경규제와 전원구성의 변화 등 본 논문이 제시한 두 가지 새로운 가설의 중요성과 당위성을 확인하였다. 본 논문의 결과는 각 국가별로 석탄사용과 관련된 정책을 수립할 때 참고할 수 있는 기초자료로 사용이 가능할 것이다.

**주요어 :** 석탄소비량, 경제성장, 인과관계, 환경규제, 석탄화력발전

**학 번 :** 2011-23419

# 목 차

제 1 장 서 론 .....	1
제 1 절 연구의 배경 .....	1
제 2 절 연구의 목표 .....	5
제 3 절 논문의 구성 .....	7
 제 2 장 이론적 배경 .....	9
제 1 절 석탄의 특징 .....	9
제 2 절 세계 석탄시장 현황 .....	12
1. 석탄의 소비 및 생산 .....	12
2. 석탄 수출입 .....	13
3. 주요석탄시장 및 가격 .....	15
제 3 절 선행연구 .....	18
1. 2개 이상의 국가를 대상으로 한 선행연구 .....	18
2. 단일국가를 대상으로 한 선행연구 .....	26
제 4절 연구방법론 .....	32
1. 단위근 검정(Unit root test) 방법 .....	32
2. 공적분 검정(Cointegration test) 방법 .....	35
3. Granger 인과관계 검정 방법 .....	37
 제 3 장 실증분석 .....	40
제 1 절 분석자료 .....	40
제 2 절 분석결과 .....	43
1. 단위근검정(Unit root test) 결과 .....	43
2. 공적분 검정(Cointegration test) 결과 .....	50
3. Granger 인과관계 검정 결과 .....	55

제 4 장 분석결과 국제비교 .....	64
제 1 절 환경규제와 인과관계 비교 .....	64
제 2 절 석탄화력발전의 비중과 인과관계 비교 .....	70
제 5 장 결과 요약 및 한계점 .....	78
제 1 절 결과 요약 .....	78
제 2 절 연구의 한계점 .....	80
참고문헌 .....	81
Appendix .....	85
Abstract .....	122

## 표 목 차

[표 1-1] post 2020 온실가스 감축을 위한 저탄소 전원믹스 강화	2
[표 2-1] 석탄의 화학성분 .....	9
[표 2-2] 주요 화석에너지원 열량계수 및 탄소배출계수 ...	11
[표 2-3] 2개 이상의 국가를 대상으로 한 선행연구 결과 ·	25
[표 2-4] 단일국가를 대상으로 한 선행연구 결과 .....	31
[표 2-5] Granger 인과관계 검정 결과 해석 .....	38
[표 3-1] 국가별 연간 석탄소비량 기초통계량 .....	41
[표 3-2] 국가별 실질GDP 기초통계량 .....	42
[표 3-3] 국가별 석탄소비량 단위근 검정 결과 .....	44
[표 3-4] 국가별 실질GDP 단위근 검정 결과 .....	47
[표 3-5] Johansen 공적분 검정 결과 .....	52
[표 3-6] VAR을 이용한 Granger 인과관계 검정 결과 .....	56
[표 3-7] VECM을 이용한 Granger 인과관계 검정 결과 ·	59
[표 3-8] Granger 인과관계 검정 결과 종합 .....	63
[표 4-1] 온실가스 의무감축 대상 여부와 인과관계 비교 ...	66
[표 4-2] 2002년 이전 인과관계 분석결과 .....	69
[표 4-3] 석탄화력발전 비중의 평균변화율·변동률과 인과관계 ·	72
[표 4-4] 석탄화력발전 비중을 기준으로 한 국제비교 결과 ·	75

## 그 림 목 차

[그림 1-1] 세계 원료탄 및 연료탄 생산량 .....	3
[그림 2-1] 세계 석탄의 거래추이 .....	13
[그림 2-2] 연료탄 현물가격 추이 .....	17

# 제 1 장 서 론

## 제 1 절 연구의 배경

개별 국가의 경제성장과 석탄소비량과의 인과관계를 분석하는 연구는 20세기 후반부터 증가하여 왔다. Jinke *et al.*(2008)은 OECD국가와 non-OECD국가의 석탄소비량과 경제성장사이의 상관관계를 분석하여 그 패턴을 비교하는 연구를 발표하였다. Jinke *et al.*(2009)은 선진국과 개발도상국을 대상으로 앞의 연구와 유사한 연구를 발표하였다. Wolde-Rufael(2010)은 중국, 인도, 일본, 한국 등 주요 석탄 다소비국을 대상으로 석탄소비량과 경제성장 사이의 인과관계를 분석하였고, 그 과정에서 추가적인 변수로 자본과 노동력을 사용하였다. 또, Apergis *et al.*(2010)은 패널분석을 이용한 두 가지 연구를 발표하였다. 하나는 15개 신흥경제국을 대상으로 패널분석을 실시한 연구이고, 다른 하나는 25개 OECD 가입국을 대상으로 한 연구이다. 이러한 연구 추세는 주로 전 세계적인 발전용 석탄사용량의 증가와 밀접한 관계가 있다.

그러나 기존의 연구들은 각 국가별로 석탄소비량과 경제성장사이의 관계가 다르게 나타나는 이유를 설명하는데 실패하였다. 이에 본 논문은 기존의 연구들과 다른 기준으로 국제비교를 실시하여 두 변수사이에 관계가 다르게 나타나는 이유를 연구의 목표로 삼았다. 기존의 연구들은 주로 경제규모나 석탄소비정도를 기준으로 국가를 분류하고 결과를 비교하였다. 하지만 본 논문은 기존의 분류 방식에서 벗어나 석탄이 가지고 있는 기본적인 특성에서 그 분류기준을 찾고자 한다. 첫 번째 분류기준은 환경규제의 유무로 선정하였다. 즉, 환경규제가 두 변수사이의 인과관



계에 영향을 줄 것이라 가설을 설정하였다. 두 번째 분류기준은 석탄화력발전 비중의 변화로 선정하였다. 각 국가별 발전부문에서 석탄화력발전이 차지하는 비중이 어떻게 변화하는지에 따라 두 변수간의 인과관계가 달라질 것이라고 가설을 설정하였다.

가설설정의 배경은 다음과 같다. 첫 번째 가설의 기준인 환경규제는 석탄이 가지고 있는 특징 중 하나인 높은 탄소배출계수에서 착안되었다. 석탄은 대체재로 인식되는 석유나 천연가스에 비해 높은 탄소배출계수를 가지고 있다. 즉, 같은 열량을 내는데 더 많은 탄소를 배출한다. 따라서 최근 기후변화에 대한 논의에서 석탄은 빠지지 않고 등장하는 주제가 되었다. 예를 들어 우리나라는 2015년 7월에 발표한 제7차 전력수급기본계획에서 온실가스 감축을 위해 석탄화력 비중을 축소하고 저탄소 전원을 확대하기로 발표하였다. 자세한 전원믹스 변동은 아래 [표 1-1]과 같다. 이렇듯 각 국가별로 환경문제를 줄이기 위해 석탄사용계획을 변경하고 있다. 이에 본 논문은 환경규제가 석탄소비량과 경제성장 사이의 인과관계에 영향을 줄 것이라 가설을 설정하였다.

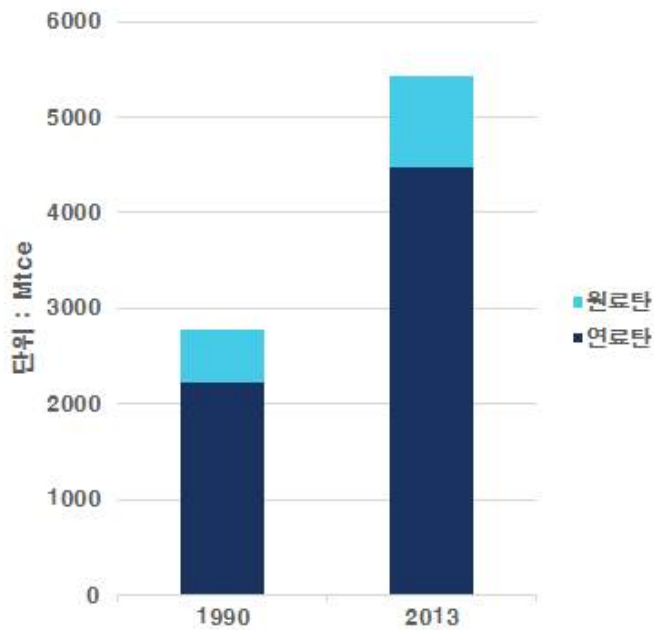
[표 1-1] post 2020 온실가스 감축을 위한 저탄소 전원믹스 강화

구분	원전	석탄	LNG	신재생	집단	석유, 양수
6차	27.4%	34.7%	24.3%	4.5%	4.6%	4.5%
7차	28.2%	32.3%	24.8%	4.6%	5.8%	4.3%

출처 : 제7차 전력수급기본계획 (2015.7)

두 번째 가설의 기준은 각 국가별 석탄화력발전 비중의 변화이다. 석탄은 사용처를 기준으로 발전용으로 사용되는 연료탄과 철강에 사용되는 원료탄으로 나눌 수 있다. 본 논문은 최근에 나타난 세계 석탄수요의 증가의 대부분이 발전용 유연탄 수요증가에서 기인하였다는 점에서 두 번째 가설을 설정하였다. 아래의 [그림 1-1]을 보면 1990년 이후 연료탄 생산량이 같은 기간 원료탄 생산량보다 급격하게 증가하였음을 알 수 있다. 또, 연료탄의 투입결과물인 전기가 원료탄의 투입결과물인 철강보다 경제에 기여하는 바가 크다고 판단하였다. 이러한 배경에서 본 논문은 두 번째 국제분류 기준을 석탄화력발전 비중으로 선정하였고, 그 동적인 변화를 반영하기 위해 단순히 비중의 크기가 아니라 비중의 변화를 사용하기로 하였다.

[그림 1-1] 세계 원료탄 및 연료탄 생산량



출처 : IEA, 2015

추가로 본 논문에서는 분석대상국을 확대하고자 한다. 기존의 연구들은 석탄다소비국가에 초점을 맞추어 분석을 실시하였지만 본 논문에서는 자료 확보가 가능한 모든 국가를 대상으로 분석을 실시하고자 한다. 또한, 자료를 최신화 하여 2000년대 이후의 기후변화에 대한 대응을 살펴볼 수 있을 것이라 기대한다. 본 논문은 각 국가의 석탄소비량과 경제성장의 인과관계를 분석할 때 Granger 인과관계 검정을 사용하고자 한다. 분석 방법론과 관련된 자세한 내용은 추후에 다시 살펴보기로 한다.

## 제 2 절 연구의 목표

본 논문의 목표는 크게 두 가지이다. 첫 번째 목표로서 본 논문은 자료 확보가 가능한 모든 국가를 대상으로 석탄소비량과 경제성장 사이의 상관관계를 분석을 실시하려 한다. 기존의 연구들에서는 주요 석탄 다소비 국가들을 대상으로만 연구를 진행하였기에 미국, 일본, 대한민국, 중국, 인도, 남아공이 주된 연구 대상이었다. 하지만, 이 국가들 외에도 많은 나라에서 석탄을 소비하고 있다. 따라서 가능한 많은 국가들을 대상으로 두 변수 사이의 인과관계를 분석해보는 일은 석탄소비와 경제성장의 관계에 대한 다양한 해석의 기회를 제공할 것이다.

본 논문에서는 석탄소비량과 경제성장의 상관관계를 분석하기 위해 두 가지 분석을 실시한다. 먼저, 두 변수 사이의 장기적 균형관계를 확인하는 공적분 검정을 실시한다. 다양한 공적분 검정 방법 중 본 연구에서 선택한 방법은 Johansen 공적분 검정 방법이다. Johansen 공적분 검정 방법은 두 변수사이의 종속관계를 알 수 없는 경우에도 적용할 수 있다는 장점이 있어 본 논문과 같이 에너지소비와 경제성장을 다루는 연구에서 주로 사용되는 분석방법이다. 두 번째 분석인 인과관계 분석에서는 총 2개의 모형을 채택하여 분석을 실시한다. 앞서 실시한 공적분 검정의 결과를 바탕으로, 두 변수 사이에 공적분 관계가 존재하는 국가는 벡터오차수정모형(Vector Error Correction Model)을 이용한 Granger 인과관계 검정을 실시하고, 공적분 관계가 없는 국가는 벡터자기회귀(Vector Auto-Regression)모형을 이용한 Granger 인과관계 검정을 실시한다. 이러한 과정을 통해 본 연구의 첫 번째 목표인 국가별 두 변수간의 공적분 관계 및 인과관계를 검정하고자 한다.

본 논문의 두 번째 목표는 국가별 석탄소비량과 경제성장 사이의 인과관계를 유의미하게 분류할 수 있는 분류 기준을 찾는 것이다. 인과관

계 분석의 결과는 크게 네 가지로 나타난다.

첫째, 석탄소비량의 증가가 경제성장을 이끄는 단방향 인과관계가 존재한다.

둘째, 경제성장이 석탄소비량을 증가시키는 방향의 단방향 인과관계가 존재한다.

셋째, 두 변수가 상호 인과하는 양방향 인과관계가 존재한다.

넷째, 두 변수 사이에 인과관계가 없다.

이렇게 네 가지 분석 결과가 발생하는데, 본 논문에서는 국가별로 상이하게 발생한 분석결과를 유의하게 분류할 수 있는 기준을 찾고자 한다. 기존의 연구들에서는 OECD와 non-OECD, 선진국과 개발도상국 등으로 국가들을 분류해 비교를 시도하였다. 하지만, 같은 그룹 내에서도 상이한 결과가 발생하면서 유의미한 분류에 실패하였다. 이에 본 연구에서는 기존의 분류방법과는 다르게 환경규제의 유무, 발전부문에서 석탄화력발전이 차지하는 비중의 변화를 기준으로 국가별 비교를 시도하려 한다. 석탄은 화석에너지원 중에서 가장 많은 온실가스를 배출하는 에너지원이다. 따라서 온실가스 배출을 줄이려는 국가에서는 그렇지 않은 국가에서와 다른 분석결과가 발생할 것이다. 또, 석탄의 주요 사용처 중 하나인 발전부문에서 석탄이 차지하는 비중도 두 변수사이에 영향을 줄 수 있는 주요 원인이라고 생각한다. 즉, 석탄화력발전의 비중이 증가하는 국가와 감소하는 국가는 각기 다른 인과관계를 보일 것이다.

이러한 기준을 통해 각 국가의 인과관계 검정 결과를 비교하여, 국가별로 상이하게 발생하는 인과관계에 대한 유의미한 분류기준을 찾고자 한다. 그 기준을 알 수 있다면, 그를 토대로 석탄에 대한 더욱 정확한 수요예측이 가능할 것이라 판단된다. 더불어 주요 석탄 다소비국가로 뽑히는 우리나라가 앞으로 나아가야 할 길을 제시하는 데에도 큰 도움이 될 것으로 기대된다.

### 제 3 절 논문의 구성

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다.

제 2장에서는 석탄이 갖는 특징을 살펴보고, 세계 석탄시장 현황에 대한 내용을 정리하였다. 또한 석탄소비량과 경제성장간의 인과관계를 분석한 선행연구들을 살펴보았다. 선행연구는 2개 이상의 국가를 대상으로 분석을 수행한 연구와, 단일국가를 대상으로 분석을 수행한 연구로 나누어 정리를 하였다. 또, 각 연구의 연구결과를 표로 정리하여 분석결과를 한눈에 볼 수 있도록 정리하였다. 마지막으로 실증분석을 위한 분석 방법론을 정리하였다. 단위근 검정 방법으로는 ADF(Augmented Dickey-Fuller)단위근 검정과 PP(Philips-Perron)단위근 검정 방법을 정리하였다. 공적분 검정 방법은 Johansen 공적분 검정 방법을 소개하였다. 인과관계 검정방법은 Granger 인과관계 검정을 소개하였는데, 공적분 관계가 있을 경우 사용할 수 있는 벡터오차수정모형(Vector Error Correction Model)을 이용한 방법과 공적분 검정 결과와 관계없이 사용할 수 있는 벡터자기회귀(Vector Auto - Regression)모형을 이용한 방법을 소개하였다.

제 3장에서는 본 논문에서 분석에 사용한 자료에 대해 정리하였다. 자료의 출처와 기간을 소개하고, 기초통계량을 첨부하였다. 그 이후 총 31개 국가에 대한 실증분석 결과를 단위근 검정, 공적분 검정, 인과관계 검정 순으로 제시하였다.

제 4장에서는 실증분석 결과를 각 국가별로 비교하였다. 국제비교의 기준은 크게 두 가지로 나누어 실시하였다. 첫 번째 기준은 환경규제의 강도로 설정하였다. 환경규제의 강도를 나타내는 도구변수로는 2002년 교토 의정서(Kyoto Protocol)에서 온실가스 의무감축 대상국 여부를 사

용하였다. 즉, 온실가스 의무감축 대상국으로 선정된 국가는 환경규제가 강한 국가로, 대상국이 아닌 국가는 환경규제가 약한 국가로 해석하고 각 국가를 비교하였다. 두 번째 비교기준은 각 국가의 발전부문에서 석탄을 이용한 석탄화력발전이 차지하는 비중의 변화로 설정하였다. 여기서는 평균변화율과 변동률이라는 개념을 정의하고, 각 국가의 평균변화율과 변동률을 계산하였다. 이렇게 계산한 두 값을 기준으로 총 4개의 그룹을 설정하고 각 그룹에 속하는 국가의 인과관계 검정 결과를 비교하였다.

마지막으로 제 5장에서는 본 연구의 주요 결과를 요약하고, 그로부터의 시사점을 도출하였다. 추가로, 본 연구가 가지는 한계점과 향후 추가적인 연구 방향을 제시하며 본 논문을 마무리하였다.

## 제 2 장 이론적 배경

### 제 1 절 석탄의 특성

본 절에서는 석탄이 갖는 기술적, 산업적 특성에 대해 살펴보고자 한다. 석탄은 오랜 지질시대에 걸쳐 유해가 퇴적되어 남게 된 하나의 유기 퇴적암으로서 탄소물질이 풍부한 가연소성 암석을 말한다. 석탄의 화학 성분은 아래 [표 2-1]과 같이 석탄이 원래 식물질임을 나타내는 섬유소인  $C_6H_{10}O_5$ 이 주된 성분을 이룬다.(현병구, 1994)

[ 표 2-1 ] 석탄의 화학성분

성 분	비율(%)	비 고
셀룰로오스(cellulose)	40 ~ 58	$(C_6H_{10}O_5)_n$ , $n$ : 수천
헤미셀룰로오스(hemicellulose)	10 ~ 40	$(C_5H_8O_{11})$
리그닌(lignin)	18 ~ 27	목질부의 고분자질
회분	0.4 ~ 1.2	
단백질	0.6 ~ 2.3	
지방, 수지 등	0.7 ~ 3.3	

출처 : 현병구(1994)

석탄은 그 탄화 정도에 따라 이탄(泥炭), 갈탄, 역청탄(또는 유연탄), 무연탄으로 분류하게 된다. 즉, 탄소성분의 비율이 낮은 순서부터 높은 순서대로 이탄, 갈탄, 역청탄 및 무연탄으로 나누어 볼 수 있다. 그 외에는 탄의 특성, 입자의 크기, 용도, 품질 등의 분류 기준에 따라 탄종을



분류하기도 한다.

석탄은 18세기 말 산업혁명을 계기로 에너지원으로서의 자리를 확고히 하기 시작했다. 석탄을 증기기관의 연료로서 사용하게 된 후, 석탄은 약 200년간 세계의 주 에너지원으로 이용되었다. 제 2차 세계대전 이후 중동지역에서 대규모 유전이 발견됨에 따라 석탄은 주 에너지원의 자리를 석유에 내어주게 되었지만, 2차 석유파동을 통해 석유가격의 급격한 상승과 수급 불안문제를 겪으면서 세계 각국은 대체에너지원으로 석탄의 중요성을 다시금 인식하게 되었다. 세계가 석탄을 대체에너지원으로 주목하게 된 이유는 현재까지 확인된 화석에너지원 중 그 매장량이 가장 풍부하기 때문이다. 전 세계에서 확인된 석탄의 가채년수는 대략 200년이 넘는다. 또, 석유나 가스가 특정 지역에 집중되어 매장되어 있는 것과는 달리 석탄은 여러 나라에 분산되어 있다. 이것 역시 석탄이 대체에너지원으로서 가지고 있는 큰 장점이다.

하지만, 석탄 역시 장점과 동시에 여러 가지 단점을 가지고 있는 에너지원이다. 석탄의 주요 단점으로 크게 두 가지를 들 수 있는데, 수송의 문제와 환경문제가 그 두 가지 주요 단점이다. 석탄은 고체상태로 존재하는 에너지원이며, 고체의 형태로 운반 및 사용된다. 따라서 운송 시 큰 부피를 차지하는 등 석유에 비해 취급하기가 불편하다.

두 번째 단점은 최근에 기후변화 문제가 논의되면서 더욱 각광받고 있는 환경문제이다. 석탄은 대체재로 인식되고 있는 다른 화석에너지원에 비하여 많은 양의 탄소를 배출하는 에너지원이다. 석탄과 석유, 천연가스 등 주요 화석에너지원의 열량계수와 탄소배출계수는 다음 [표 2-2]와 같다. 표에서 알 수 있듯 석탄은 탄종을 불문하고 석유 및 가스 자원보다 큰 탄소배출계수를 가지고 있다. 즉, 같은 열량을 내는데 다른 에너지원보다 더 많은 탄소를 배출한다.

[ 표 2-2 ] 주요 화석에너지원 열량계수 및 탄소배출계수

연료 구분		열량계수 C Kg/GJ	탄소배출계수 C Ton/TOE
석 탄	무연탄	26.80	1.100
	유연탄	25.80	1.059
석 유	원유	20.00	0.829
	휘발유	18.90	0.783
	등 유	19.60	0.812
	경 유	20.20	0.837
가 스	천연액화가스(LNG)	17.20	0.630

출처 : 에너지기술연구원<sup>1)</sup>

1) 에너지기술연구원([www.kier.re.kr/energy/stat\\_34.jsp](http://www.kier.re.kr/energy/stat_34.jsp), '15.11.20기준)

## 제 2 절 세계 석탄시장 현황

### 2.2.1 석탄 소비 및 생산

세계의 석탄소비는 2000년대 이후에 급격히 증가하기 시작하였다. 세계 석탄소비는 1990년대 연평균 0.6% 증가하여 1차에너지 소비 증가율(1.4%)에 미치지 못하였다. 하지만, 2000년대 들어서는 연 3.8%씩 증가하여 1차에너지 소비 증가율(2.4%)보다 약 1.4%p 높았다. 2000년대의 석탄소비 증가율은 석유, 천연가스 등 다른 화석에너지원의 소비 증가율을 모두 뛰어넘는다. 이렇게 석탄의 소비량이 급격히 증가하게 된 바탕에는 아시아지역 개발도상국의 기여가 있었다. 이를 반영하듯 석탄소비 증가의 대부분을 중국, 인도 등을 포함한 아시아지역이 주도하고 있다.(BP, 2014)

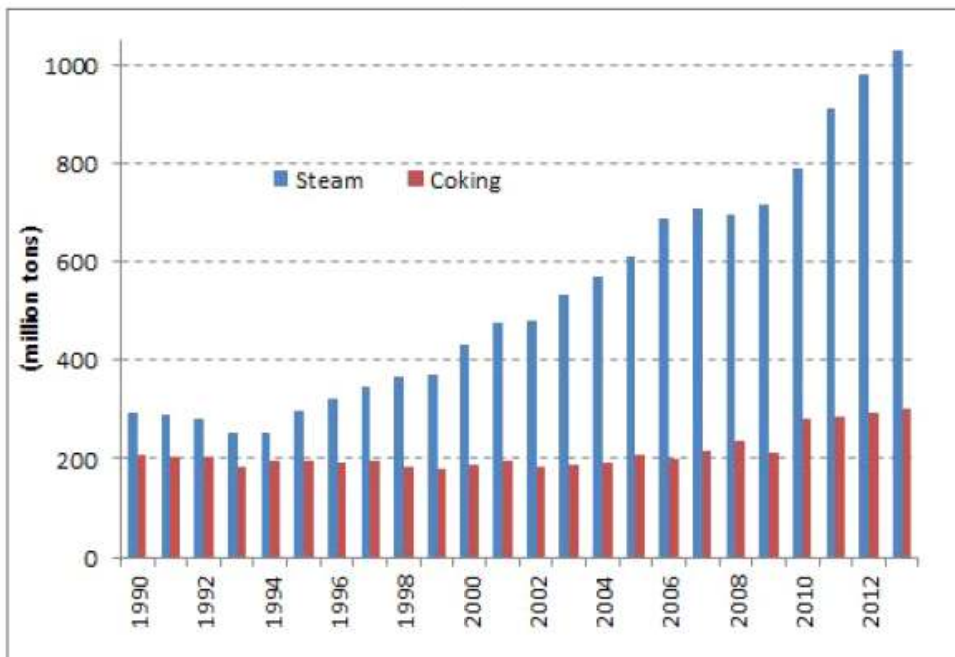
탄종별 기여도를 살펴보면 연료탄이 84%, 원료탄이 16%로 연료탄의 소비증가가 전체 석탄소비 증가에 더 큰 기여를 하고 있음을 알 수 있다. 국가별로는 중국이 세계 석탄소비의 52%, 미국이 10.9%, 인도는 9.1%를 차지하고 있다. 이 외에도 러시아, 일본, 남아공, 한국 등의 국가가 2~3%의 점유율을 차지하고 있다.

석탄의 생산도 중국이 전체의 46%, 미국이 12%, 인도는 8%를 담당하고 있어 소비에서와 유사한 형태를 보이고 있음을 알 수 있다. 그 외에는 인도네시아, 호주, 러시아, 남아공 순으로 석탄을 많이 생산하고 있다. 이렇게 주요 생산국과 소비국이 유사한 데에는 석탄의 수송비용이 미치는 영향이 크다. 다른 화석에너지원과 달리 석탄은 상품가격대비 수송비용의 비율이 큰 에너지원으로, 생산국에서 자체적으로 소비하는 비중이 크다.

### 2.2.2 석탄 수출입

세계의 석탄 거래는 2000년 이후 급격히 증가하였다. 2000년 620백만 톤의 석탄이 거래된 것에 비해 2013년에는 1,329백만 톤에 달하는 많은 양의 석탄이 거래되었다. 탄종별로는 연료탄의 거래량 증가가 두드러졌다. 2000년 이후 연료탄이 7.5%, 원료탄이 4.0%씩 증가하였고, 2010년 이후에는 연료탄의 거래량 증가율이 연평균 9.2%에 달하고 있다. [그림 2-1]은 1990년 이후의 세계 석탄의 거래추이를 연료탄과 원료탄으로 나누어서 보여주고 있다. 이 그래프를 통해 보면 연료탄(Steam coal)의 거래량 증가를 더 확연하게 파악할 수 있다.

[그림 2-1] 세계 석탄의 거래추이 (자료 : IEA, 2014)



석탄의 수입 측면에서는 중국, 일본, 인도, 대한민국 등이 수입량 증가를 주도하고 있다. 중국은 세계 석탄수입량의 24%에 달하는 양을 수입하고 있으며, 일본(14%), 인도(14%), 한국(9%) 순으로 그 뒤를 따르고 있다. 이렇게 주요 석탄 수입국 4개 국가에서 전 세계 석탄수입량의 61%를 차지하고 있으며, 이들 국가는 모두 아시아지역에 위치하고 있다는 것이 특징이다. 탄종별로 구별해보아도 그 순위는 크게 변하지 않는다. 특이한 점은 중국이 과거에는 석탄수출국의 역할을 했으나, 급격한 경제성장과 함께 석탄수요가 지속적으로 증가하여 현재는 세계 1위 석탄 순수입국이 되었다는 점이다.

주요 석탄 수출국가는 인도네시아, 호주, 러시아를 들 수 있다. 인도네시아는 전 세계 석탄 수출량의 32%를 담당하고 있으며, 호주와 러시아는 각각 25%, 11%를 담당하고 있어 이 세 나라에서 담당하고 있는 수출량은 전체의 68%이다. 이 외에는 미국, 콜롬비아, 남아공 등의 나라가 뒤를 잇고 있다. 유럽국가중에서는 폴란드가 대표적인 석탄수출국이다. 폴란드는 전 세계석탄수출량의 약 1%의 양을 수출하고 있다. 수출측면은 수입에서보다 지역편중성이 더 크다. 연료탄의 경우 상위 5개국(인도네시아, 호주, 러시아, 콜롬비아, 남아공)의 점유율이 84%이고, 원료탄은 호주, 미국, 캐나다, 러시아, 몽골이 전체의 94%를 담당하고 있다.

### 2.2.3 주요 석탄시장 및 가격<sup>2)</sup>

연료탄 현물시장은 활발하게 운영되고 있지만, 원료탄 시장은 그렇지 못하다. 원료탄은 안정적 수급을 위해 석탄회사와 제철회사간의 장기계약(Term contract)에 의해 거래가 이루어지기 때문에 활발한 현물시장이 이루어지기 힘들다. 지역별로 살펴보면, 북미지역은 지역 내에서 생산하는 대부분의 석탄을 자체적으로 소비하는 자급자족의 형태를 띠고 있다. 북미지역에서 생산되는 석탄의 약 9%정도만 다른 지역으로 수출이 되고 있다. 특이한 점은 이 수출량의 2/3가 원료탄이라는 점이다. 즉, 제철산업의 경기에 따라 북미지역의 석탄수출량이 좌우될 수 있다.

두 번째로 유럽시장을 살펴보고자한다. 유럽은 석탄소비의 많은 부분을 다른 지역으로부터의 수입에 의존하고 있다. 2013년을 기준으로 유럽 지역의 석탄소비 수입 의존도는 73%를 넘어섰다. 수입의존도와는 별개로 유럽의 석탄소비 및 생산은 지속적으로 감소하고 있다. 환경문제와 결부되어 원자력발전소의 폐쇄에도 불구하고 유럽의 석탄 소비는 지속적으로 감소하고 있으며, 이러한 추세는 미래에도 계속 될 것으로 전망된다.

마지막으로 아시아지역을 보면, 석탄소비는 증가했지만 시장형성은 더딘 모습을 보이고 있다. 아시아지역은 석탄 생산, 소비, 수입, 수출이 모두 지속적으로 증가하고 있다. 중국, 인도, 일본, 대한민국 등의 국가가 석탄소비 및 수입의 증가를 견인하고 있으며, 인도네시아와 중국이 석탄 수출 증가의 밑바탕이 되고 있다. 이러한 활발한 소비와 수출입에도 불구하고 현물시장의 형성이 더딘 것은 아시아지역 석탄시장의 독특한 특

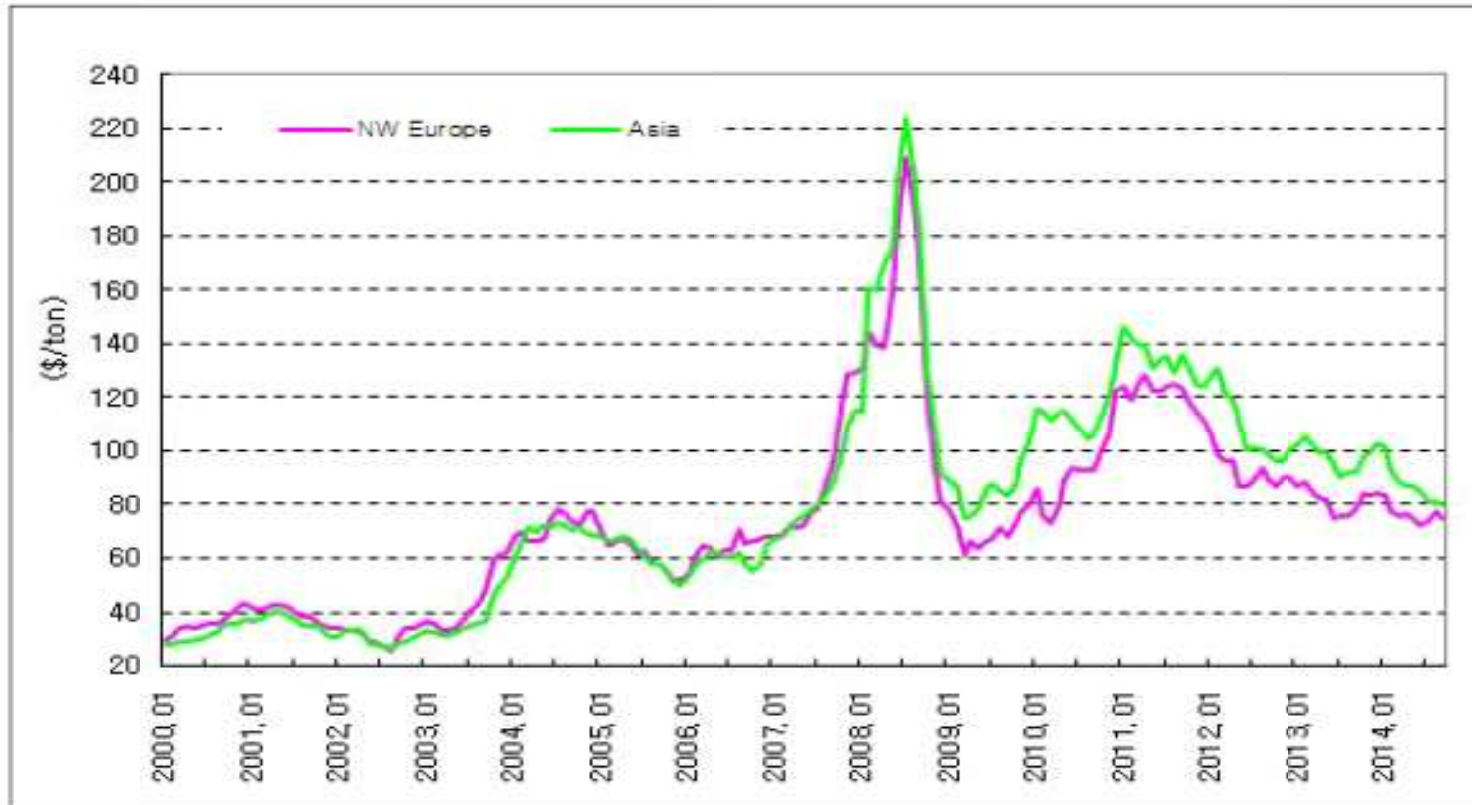
---

2) 본 절은 “권혁수, 홍승혜, 2014, 아시아 주요 석탄수입국의 석탄 확보 전략과 우리의 대응방안, 에너지경제연구원”을 참고하여 작성함

성이다. 아시아지역 국가들은 석탄수급의 방법으로 현물시장을 이용하기 보다는 장기계약을 통한 보다 안정적인 수급방법을 선호한다. 또, 지리적 특성상 다른 석탄 수출국가인 북미, 아프리카 지역과 멀리 떨어져 있는 것도 시장형성에 큰 걸림돌이라고 할 수 있다. 석탄은 고체의 형태로 운송이 되는 에너지원으로 주로 벌크선을 통해 수송하기 때문에, 상품가격 대비 수송비가 많이 드는 에너지원이다. 따라서 아시아지역의 석탄시장은 지리적으로 고립된 시장이라고 볼 수 있다. 이러한 지리적·사회적 특성에 의해 아시아지역은 석탄 현물시장의 발달이 미비한 상황이다.

석탄의 가격은 2008년 7월을 정점으로 그 후 세계 경제침체의 영향으로 가격이 하락했으며, 다양한 요인에 의해 조금씩 오르내리는 형상을 보이고 있다. 다음 [그림 2-2]는 연료탄 현물가격의 변동을 보여주는 그래프이다. 2008년 하반기의 가격하락 이후 아시아지역의 수요증가로 인해 2011년까지 조금씩 가격이 상승하였다. 그 이후 중국 경제성장 둔화 등의 영향으로 그 상승세가 다시금 하락세로 돌아섰음을 알 수 있다. 또한 가지 눈에 띄는 점은 2008년 하반기 이후 아시아지역과 유럽지역의 석탄가격차이이다. 2008년 이후 아시아지역의 석탄수요가 증가했지만, 지리적 특성상 고립된 시장으로 볼 수 있기에 유독 아시아지역의 석탄가격이 다른 지역의 석탄가격보다 높게 거래되고 있음을 그래프를 통해 다시 확인할 수 있다.

[ 그림 2-2 ] 연료탄 현물가격 추이



자료 : Platts (2014. 10)



## 제 3 절 선행연구

그동안 석탄과 경제성장 사이의 관계에 대한 연구는 석유, 천연가스 등의 타에너지원에 비해 활발하게 진행되지 않았다. 하지만, 최근 환경에 대한 세계적 관심이 집중되면서 온실가스를 많이 배출하는 에너지원인 석탄에 대한 관심이 커지고 있다.

석탄소비량과 경제성장 사이의 상관관계를 분석한 기존의 연구들은 크게 두 가지로 분류하였다. 첫 번째는 2개 이상의 국가를 대상으로 분석을 실시하고, 그 결과를 국가별로 비교한 연구들이다. 이러한 연구들은 분석결과 국제비교 시 어떠한 지표를 기준으로 삼을 수 있는지를 제공한다. 반면, 두 번째 그룹인 단일 국가를 대상으로 한 연구는 국가별 비교보다는 분석에 사용한 모형과 변수들이 무엇인지에 초점을 맞추고 있다. 단일국가를 연구대상으로 할 경우 자료의 획득 및 다양한 분석 시도가 용이하다. 즉, 분석 대상국의 수에 따라 연구의 목적이 다르다고 할 수 있다. 따라서 본 절에서는 기존의 연구들을 두 그룹으로 나누어 정리하였다.

2개 이상의 국가를 대상으로 한 선행연구들은 국제비교의 기준이 될 수 있는 지표들이 무엇인지를 파악하는데 초점을 두고 정리하였다. 반면, 단일 국가를 대상으로 한 연구들은 각 연구에서 사용한 자료의 종류와 분석모형을 파악하는데 중점을 두고 정리하였다.

### 2.3.1 2개 이상의 국가를 대상으로 한 선행연구

본 소절에서 다룬 연구들은 2개 이상의 다양한 국가를 대상으로 연구를 진행하고 국제비교를 실시한 연구들이다. 본 절에서는 선행연구를 살

펴보면서 다른 연구들은 국제비교를 실시하는 기준을 무엇으로 삼았으며, 그 비교결과가 유의한지에 중점을 두었다.

**(a) Jinke *et al.*(2008)**

Jinke *et al.*(2008)은 주요 OECD국가와 non-OECD국가를 대상으로 석탄소비량과 경제성장(실질GDP) 사이의 인과관계를 비교하였다. 주요 OECD국가로는 미국, 한국, 일본의 자료를 이용하였고, non-OECD국가는 중국, 인도, 남아공의 자료를 이용하였다. 1980년부터 2005년까지의 연간 자료를 이용하여 석탄소비량과 경제성장의 인과관계를 분석하였다. 인과관계 분석을 위해 VECM(Vector Error Correction Model)을 이용한 Granger 인과관계 분석 방법을 사용하였다.

분석결과 일본과 중국은 경제성장이 석탄소비를 증가시키는 단방향 인과관계가 있는 것으로 나타났다. 한국, 인도, 남아공은 두 변수사이에 공적분관계는 존재하지만 인과관계는 없는 것으로 나타났으며, 미국은 두 변수 사이에 공적분관계가 없는 것으로 나타났다. 이 연구에서 사용한 VECM은 변수들 사이의 공적분 관계를 이용하므로, 공적분 관계가 없는 미국은 인과관계 유무를 분석할 수 없었다.

국제비교 결과를 보면, 주요 OECD국가로 선정한 미국, 한국, 일본의 인과관계 결과가 모두 상이하였고, non-OECD국가인 중국, 인도, 남아공 역시 각기 다른 인과관계 분석 결과를 나타냈다. 즉, Jinke *et al.*(2008)이 국제비교의 기준으로 삼은 OECD가입여부는 유의미한 분석기준이 될 수 없음을 알 수 있다.

(b) Jinke *et al.*(2009)

Jinke *et al.*(2009)은 선진국과 개발도상국으로 대상국을 분류하고, 국가별 석탄소비량과 경제성장(실질GDP) 사이의 인과관계의 방향을 분석하였다. 선진국의 자료로는 미국과 일본의 자료를 이용하였고, 개발도상국의 자료는 중국과 인도, 남아공의 자료를 사용하였다. 분석기간은 1980년에서 2005년까지이었으며, 연간자료를 이용하여 분석을 실시하였다. 인과관계 분석을 위해 VECM을 이용한 Granger 인과관계 분석방법을 적용하였다.

분석을 실시한 결과 일본과 중국에서는 경제성장이 석탄사용을 견인한다는 단방향 인과관계가 나타났고, 남아공과 인도는 두 변수사이에 인과관계가 발견되지 않았다. 미국의 경우 단위근 검정 단계에서 실질GDP는 안정적인 시계열이고, 석탄소비량은 불안정적인 시계열임이 나타났다. 이 연구에서 사용한 VECM은 이렇게 안정적인 시계열과 불안정적인 시계열이 혼재된 경우에는 적용이 불가하다. 따라서 미국은 인과관계 분석에서 제외하였다.

Jinke *et al.*(2009)는 선진국과 개발도상국으로 국제비교의 기준을 선정하였다. 하지만, 이 비교기준 역시 유의미한 결과가 될 수 없었다. 선진국으로 선정된 미국과 일본의 분석결과가 서로 같지 않았으며, 개발도상국인 중국과 인도, 남아공 역시 같은 분석결과를 보이지 못하였다. 즉, 선진국과 개발도상국으로 국제비교의 기준을 선정하는 것은 유의미한 비교가 될 수 없음을 알 수 있었다.

### (c) Wolde-Rufael(2010)

Wolde-Rufael(2010)은 1965년에서 2005년의 자료를 이용하여 석탄소비량과 경제성장(GDP)의 인과관계를 분석하였다. 분석 대상국은 주요 석탄 다소비 국가 6개국으로 중국, 인도, 일본, 한국, 남아공 그리고 미국을 대상으로 하였다. 인과관계 분석을 위해 사용한 분석 방법은 VAR모형을 이용한 Granger 인과관계 분석법을 이용하였다. 본 연구에서는 석탄소비량과 GDP이외에 외생변수로 자본과 노동력을 사용하였다. 이렇게 자본과 노동력을 모형에 포함을 시키면 석탄소비량과 경제성장사이의 상관관계에서 자본과 노동력이 끼칠 수 있는 영향을 사전에 제거할 수 있다는 장점이 있다.

인과관계 분석결과 인도와 일본에서는 석탄소비가 경제성장을 견인한다는 단방향 인과관계가 있는 것으로 나타났다. 반대로, 한국과 중국에서는 경제성장이 석탄소비를 견인하는 단방향 인과관계가 나타났다. 또, 미국과 남아공은 두 변수 사이에 양방향 인과관계가 있는 것으로 나타났다. 본 연구는 두 선행연구와는 다르게 VAR모형을 이용하였기 때문에, 두 변수사이에 공적분 관계가 존재하지 않는 미국의 인과관계를 분석할 수 있었다.

Wolde-Rufael.(2010)은 결론을 통해 한국과 중국은 석탄소비가 감소하여도 경제성장에 악영향을 주지 않을 것이지만, 나머지 4개 국가는 석탄소비의 감소는 경제성장의 둔화로 이어질 수 있다고 결론지었다. 즉, 6개 석탄다소비국 중 인도, 일본, 남아공, 미국은 경제성장에 악영향을 주지 않으면서 석탄소비를 줄이기 위해서는 다른 값싸고 깨끗한 대체에너지원을 찾아야 한다고 강조했다.

(d) Apergis *et al.*(2010)

Apergis *et al.*(2010)은 15개 신흥경제국을 대상으로 석탄소비량과 경제성장의 관계를 알아보기 위해 다변수 패널분석을 실시하였다. 대상국으로 선정된 15개 국가는 아르헨티나, 브라질, 칠레, 중국, 이집트, 헝가리, 인도, 인도네시아, 말레이시아, 멕시코, 모로코, 페루, 필리핀, 남아공, 태국이다. 1980년에서 2006년까지의 실질GDP, 석탄소비량, 자본, 노동력 자료를 이용하여 분석을 실시하였다. 본 연구에서 사용한 패널분석은 시계열 분석 연구와는 달리 국가별 결과가 아니라 그룹 전체의 인과관계를 하나로 보여준다.

다변수 패널 인과관계 분석결과 석탄소비량과 경제성장 사이에는 장·단기적으로 모두 양방향 인과관계가 존재 하는 것으로 나타났다. 하지만, 단기적 인과관계의 경우 음의 인과관계가 존재하는 것으로 나타났는데, 저자는 석탄의 비효율적이고 과도한 사용 때문인 것으로 추정하고 있다. 또한 탄력성 분석에서도 석탄과 경제성장 사이에 음의 탄력성이 존재하는 것으로 분석되었는데, Apergis *et al.*(2010)은 이를 이산화탄소배출과 관련된 비용 때문인 것으로 결론을 냈다.

본 연구에서 기존의 연구와는 달리 계수의 부호가 음수가 나온 이유와 두 변수 사이에 음의 탄력성관계가 나타난 이유를 설명했다. 본 연구의 저자는 이를 비효율적인 석탄사용과 이산화탄소배출과 관련된 비용으로 설명하고 있다.

(e) Apergis *et al.*(2010)

Apergis *et al.*(2010)은 1980년에서 2005년의 자료를 이용하여 석탄소비량과 경제성장 사이의 인과관계를 분석하였다. 분석 대상국은 25개 OECD국가이었으며, 분석방법은 Apergis *et al.*(2009)와 같이 다변수 패널분석을 이용하였다. 추가로, 석탄소비량과 GDP이외에 자본과 노동변수를 포함한 모형으로 분석을 실시하였다.

다변수 패널 인과관계 분석 결과 OECD국가에서는 장·단기적으로 모두 양방향 인과관계가 존재하는 것으로 나타났다. 하지만, 단기적으로는 석탄소비량의 증가가 경제성장에 부정적 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 그 이유는 Apergis *et al.*(2009)와 마찬가지로 효율적이지 못한 석탄소비와 환경비용을 꼽았다. 또, 탄력성 분석을 시도하였는데, 그 결과도 앞의 연구와 마찬가지로 두 변수 사이에 음의 탄력성이 존재하는 것으로 분석되었다.

본 연구는 앞에서 살펴본 연구와 같은 분석모형을 가지고 대상국가만을 변화시켜 분석을 실시하였다. 대상국가를 신흥경제국에서 OECD국가로 바꾸었지만, 그 결과는 같은 결과를 냈다는 점에 주목을 할 필요가 있다. 즉, 그 국가가 신흥경제국인지, OECD국인지에 관계없이 다변수 패널분석을 통해서는 같은 결과가 도출되었다는 것이다. 이는 개별 국가를 분리하여 분석하지 않고, 그룹으로 분석을 하는 패널분석의 특성 때문인 것으로 생각된다. 즉, 그룹으로 분석을 했을 때는 신흥경제국과 OECD국이 같은 패턴을 보인다고 결론을 내릴 수 있다.

지금까지 살펴본 선행연구의 연구결과를 표로 정리하면 [표 2-3]과 같다. OECD와 non-OECD, 선진국과 개발도상국, 석탄다소비국, OECD, 신흥경제국 등 다양한 분류기준으로 국가를 분류하였지만 뚜렷한 경향성을 나타낸 분류는 찾기 힘들다. 즉, 기존의 선행연구들은 결과적으로 유의미한 국가비교 기준을 찾지는 못했다고 볼 수 있다.

[ 표 2-3 ] 2개 이상의 국가를 대상으로 한 선행연구 결과

저자	방법론	변수	국가	결과
Jinke <i>et al.</i> (2008)	VECM	석탄소비량, 실질 GDP	중국	GDP → Coal
			인도	no causality
			일본	GDP → Coal
			남아공	no causality
			한국	no causality
			미국	no cointegration
Jinke <i>et al.</i> (2009)	VECM	석탄소비량, 실질 GDP	미국	분석 불가
			일본	GDP → Coal
			중국	GDP → Coal
			인도	no causality
			남아공	no causality
Wold-Rufael (2010)	VAR	석탄소비량, 실질 GDP	중국	GDP → Coal
			인도	Coal → GDP
			일본	Coal → GDP
			한국	GDP → Coal
			남아공	Coal ⇔ GDP
Apergis <i>et al.</i> (2009)	Panel VECM	석탄소비량, 실질 GDP (자본, 노동력)	15 신흥경 제국	Coal ⇔ GDP (단기에서 계수가 음수)
Apergis <i>et al.</i> (2010)	Panel VECM	석탄소비량, 실질 GDP (자본, 노동력)	25 OECD	Coal ⇔ GDP (단기에서 계수가 음수)



### 2.3.2 단일국가를 대상으로 한 선행연구

본 절에서는 단일국가를 대상으로 석탄소비와 경제성장 사이의 인과관계를 분석한 연구들을 살펴보고자 한다. 이러한 연구의 대상국은 대한민국, 타이완, 나이지리아, 중국, 터키 등이 있다. 단일국가를 대상으로 한 연구들은 분석에 사용한 자료와 분석모형을 파악하는 데에 중점을 두고 정리하였다.

#### (a) Yoo(2006) / Korea

Yoo(2006)은 한국의 자료를 이용하여 석탄소비량과 경제성장(실질 GDP)사이의 인과관계를 분석하였다. 분석에 사용된 자료는 1968년부터 2002년까지의 석탄소비량과 실질GDP이고, 연간자료를 사용하였다. 분석에 사용한 분석방법은 VECM을 이용한 Granger 인과관계 분석방법이다. 인과관계 분석에 앞서 대한민국의 경우 두 변수사이에 공적분 관계가 존재하는 것으로 나타났고, 그에 따라 VECM을 사용할 수 있었다.

인과관계 분석결과 단기적으로는 두 변수 사이에 양방향 인과관계가 존재하는 것으로 나타났다. 하지만, 장기적으로는 경제성장이 석탄소비량을 증가시키는 단방향 인과관계가 존재하는 것으로 분석되었다. 또, 강인과관계(Strong Causality)분석에서는 두 변수사이에 양방향 인과관계가 존재하는 것으로 나타났다. 이 연구에서는 단기와 강인과관계의 결과를 통해 한국의 경우 석탄소비량의 감소는 경제성장에 부정적 영향을 미칠 수 있다는 정책적 시사점을 도출하였다.

## (b) Yang(2000) / Taiwan

Yang(2000)은 1954년부터 1997년까지의 자료를 이용하여 타이완의 석탄소비량과 경제성장 사이의 인과관계를 분석하였다. 이 연구에서는 경제성장의 지표로 실질 GDP가 아닌, GNP자료를 이용했다는 것이 특징이다. 기존의 선행 연구들에서 사용한 GDP는 국내총생산으로 한 해 동안 한 국가 내에서 일어난 총 생산량을 의미한다. 반면, 본 연구에서 사용한 GNP는 국민총생산으로 한 해 동안 한 국가의 국민이 생산한 총 생산량을 말한다. 분석에 사용한 방법론은 VAR을 이용한 Granger 인과관계 분석방법을 사용하였다.

인과관계 분석결과 타이완은 경제성장이 석탄소비량을 증가시키는 단방향 인과관계가 있는 것으로 나타났다. Yang(2000)은 이러한 인과관계를 통해 석탄소비가 감소하더라도 타이완의 경제성장에는 부정적 영향을 주지 않을 것이라는 결론을 냈다. 또한, 석탄을 다른 에너지원으로 대체하는 것을 정책적으로 고려할 때, 석탄소비의 감소를 걱정할 필요가 없다는 정책적 함의를 제시하였다.

(c) Bloch *et al.*(2012) / China

Bloch *et al.*(2012)은 중국을 대상으로 석탄소비량과 경제성장 사이의 인과관계 분석을 실시하였다. 이 연구는 공급 측면과 수요 측면을 나누어 분석을 실시하였다는 특징이 있다. 공급 측면 분석에서는 1977년부터 2008년까지의 생산, 노동, 자본, 석탄소비량의 자료를 이용하였다. 한편, 수요 측면 분석에서는 1965년부터 2008년까지의 소득, 석탄가격, 탄소배출량, 석탄소비량의 자료를 이용하여 분석을 실시하였다. 인과관계 분석에 사용한 방법론은 VECM을 이용한 Granger 인과관계 분석방법을 적용하였다.

인과관계 분석결과 공급 측면에서는 장·단기적으로 모두 석탄소비가 생산을 증가시키는 단방향 인과관계가 있는 것으로 나타났다. 반면, 수요 측면에서는 장·단기적으로 모두 소득의 증가가 석탄소비량을 증가시키는 단방향 인과관계가 있는 것으로 분석되었다. 추가적으로, 탄소배출과 석탄소비의 인과관계는 두 변수 사이에 양방향 인과관계(feedback)가 있는 것으로 나타났다. 또 한 가지 흥미로운 분석결과로는 석탄가격의 상승은 경제성장에 영향을 주지 않으면서, 탄소배출을 감소시키는 효과가 있다는 것이다.

Bloch *et al.*(2012)은 공급 측면의 분석결과를 통해 석탄소비량을 줄이는 것은 경제성장에 부정적 영향을 줄 수 있다는 결론을 냈다. 이와 동시에 소비 측면의 분석결과 석탄소비 증가는 탄소배출과의 양방향 인과관계가 있기 때문에, 기후변화와 경제성장 사이에서 해결책을 찾는 것은 굉장히 복잡한 문제임을 지적하고 있다. 하지만, 석탄가격의 상승이 경제성장에 영향을 주지 않으면서도 탄소배출을 감소시키는 효과가 있다는 점은 중국 에너지 대체 문제에 희망이 된다고 하였다.

#### (d) Nasiru(2012) / Nigeria

Nasiru(2012)은 나이지리아를 대상으로 석탄소비량과 경제성장(실질 GDP) 사이의 공적분 관계와 인과관계를 분석하였다. 분석에 사용한 자료는 1980년부터 2010년까지의 자료를 이용하였다. 이 연구에서는 공적분 분석과 인과관계 분석을 실시하였는데, 공적분 분석은 two-step residual based approach 방법을 사용하였고 인과관계 분석은 VAR모형을 이용한 Granger 인과관계 분석방법을 적용하였다.

실증분석결과에 의하면, 나이지리아는 석탄소비량과 경제성장 사이에 공적분 관계가 존재하는 것으로 나타났다. 즉, 두 변수 사이에 장기적 균형관계가 있음을 알 수 있었다. 또, 인과관계 분석결과 경제성장이 석탄소비의 증가를 야기한다는 단방향 인과관계가 존재하는 것으로 나타났다.

Nasiru(2012)는 결론을 통해 나이지리아는 이론적으로 석탄소비가 감소하여도 경제성장에 부정적 영향이 없을 것이라 전망하였다. 또, 경제가 지속적으로 성장한다면 석탄소비량 역시 지속적으로 증가할 것이라고 전망했다.

(e) Ocal *et al.*(2013) / Turkey

Ocal *et al.*(2013)은 1980년부터 2006년까지의 자료를 이용하여 터키의 석탄소비량과 경제성장(실질 GDP)사이의 인과관계를 분석하였다. 분석을 위해 다변수 모델을 구성하였는데, 추가적인 변수로는 자본과 노동을 사용하였다. 인과관계 분석에 사용된 방법론은 VAR모형을 이용한 비대칭적 인과관계 검정(asymmetric causality test) 방법을 사용하였다. 전통적인 인과관계 검정에서는 시계열에 일정한 충격이 가해졌을 때, 그 충격의 방향이 양의 방향인지 음의 방향인지에 관계없이 반응의 크기가 대칭적으로 일정하다는 것을 가정한다. 하지만, 비대칭적 인과관계 검정에서는 충격의 방향에 따라 반응의 크기가 비대칭적으로 발생할 수 있음을 염두하고 검정을 실시한다.(Hatemi-J, 2012)

비대칭적 인과관계 검정결과 두 변수사이에는 인과관계가 없었다. 즉, 터키의 석탄소비와 경제성장은 상호간에 영향을 미치지 않는다는 결론을 내릴 수 있다. 이에 저자는 터키의 경우 석탄을 다른 에너지원으로 대체하는 정책적 고민을 할 때 경제성장이 저하될 것을 고민할 필요가 없다고 말한다.

[ 표 2-4 ] 단일국가를 대상으로 한 선행연구 결과

저자	방법론	변수	국가	결과
Yoo (2006)	VECM	석탄소비량, 실질 GDP	한국	단기 : Coal $\Leftrightarrow$ GDP 장기 : GDP $\rightarrow$ Coal
Yang (2000)	VAR	석탄소비량, GNP	타이완	GNP $\rightarrow$ Coal
Bloch <i>et al.</i> (2012)	VECM	공 급	중국	공 급
		생산, 노동, 자본, 석탄소비량		Coal $\rightarrow$ GDP
		수 요		수 요
		소득, 석탄가격, 탄소배출량, 석탄소비량		GDP $\rightarrow$ Coal
Nasiru (2012)	VAR	석탄소비량, 실질 GDP	나이지리아	GDP $\rightarrow$ Coal
Ocal <i>et al.</i> (2013)	VAR	석탄소비량, 실질 GDP, 자본, 노동	터키	no causality

## 제 4 절 연구방법론

본 절에서는 본 논문의 실증분석에서 사용한 분석 방법론을 소개한다. 실증분석을 실시한 차례대로 단위근 검정, 공적분 검정, Granger 인과관계 검정 순으로 각 검정법을 소개하였다. 또, 각 방법론의 장단점을 살펴보고 본 논문에서 해당 방법론을 채택한 이유를 기술하였다.

### 2.4.1 단위근 검정(Unit root test)

시계열 자료를 이용해 회귀분석을 시행하기 위해서는 분석대상이 되는 시계열 자료가 안정적(stationary)이라는 가정이 선행된다. 시계열 자료가 안정적이라는 것은 시간이 지남에 따라 자료가 평균으로 회귀하는 특성을 가진다는 것을 의미한다. 이러한 자료의 안정성을 통계적으로 검정하는 절차가 단위근 검정(Unit root test)이다.

시계열이 단위근을 갖는다는 의미는 시간이 지나도 자료가 평균으로 회귀하지 않고 특정한 확률적 추세를 내포한다는 것을 말한다. 이러한 시계열 자료는 차분을 통해 안정성을 회복시켜야 한다. 보통  $n$ 차 차분을 해야 안정성을 회복하는 경우 해당 시계열을  $n$ 차 적분되어 있다고 말하며, Integrated의 앞 글자를 따서  $I(n)$ 시계열이라 부른다. 단위근을 갖는 시계열을 그대로 분석할 경우 실제로 아무런 관계가 존재하지 않지만, 유의한 계수값과 높은 다중결정계수( $R^2$ )가 도출되는 가성회귀(Spurious Regression)가 발생할 수 있어 문제가 된다. 따라서 시계열 자료를 활용한 분석 시에는 자료의 안정성 또는 불안정성을 판별하는 단위근 검정 과정이 선행되어야 하며, 불안정한 시계열에 대해서는 차분을 통해 안정성을 회복시켜야 한다.

단위근 검정 방법으로는 DF(Dickey-Fuller) 단위근 검정, ADF (Augmented Dickey-Fuller) 단위근 검정, PP(Phillips-Perron) 단위근 검정 방법 등이 있으며, 본 연구에서는 ADF 단위근 검정과 PP 단위근 검정 방법을 사용하여 시계열 자료의 단위근 검정을 실시하였다.

#### 2.4.1.1 ADF 단위근 검정 방법

DF(Dickey-Fuller) 단위근 검정 방법은 시계열 변수가 AR(1)이고, 오차항( $\varepsilon_t$ )이 서로 독립 항등 분포(*iid*, independent and identically distributed)를 만족하며 동일한 (공)분산을 갖는다는 가정에 의존한다. 하지만, 일반적으로 추정결과 얻어지는 잔차항은 대부분 자기상관을 보인다. 이러한 잔차항 자기상관의 영향을 제거하기 위해 차분추가항( $\Delta Y_{t-1}$ )을 추가한 검정방법이 ADF 단위근 검정 방법(Dickey and Fullers, 1979)이다. ADF단위근 검정에 사용되는 모형은 다음 세 가지 모형이 있다.

$$\text{Model I : } \Delta Y_t = \gamma Y_{t-1} + \sum_{i=1}^P \delta_i \Delta Y_{t-1} + \varepsilon_t$$

$$H_0 : \gamma = 0, \quad H_1 : \gamma \neq 0$$

$$\text{Model II : } \Delta Y_t = \alpha + \gamma Y_{t-1} + \sum_{i=1}^P \delta_i \Delta Y_{t-1} + \varepsilon_t$$

$$H_0 : \alpha = \gamma = 0, \quad H_1 : \alpha \neq 0, \gamma \neq 0$$

$$\text{Model III : } \Delta Y_t = \alpha + \beta t + \gamma Y_{t-1} + \sum_{i=1}^P \delta_i \Delta Y_{t-1} + \varepsilon_t$$

$$H_0 : \alpha = \gamma = \delta = 0, \quad H_1 : \gamma \neq 0, \delta \neq 0$$



위의 세 모형 중 Model I 은 가장 단순한 형태의 모형으로 추세나 절편항을 포함하지 않는다. Model I 의 귀무가설을 기각하지 않으면 표류가 없는 확률적보행(random walk with no drift)라고 판정한다. Model II 는 절편항을, Model III 은 절편항과 확정적 추세를 갖는 모형이다. ADF 단위근 검정 방법은 잔차항 자기상관 영향을 제거했다는 장점이 있어 널리 사용되고 있지만, 제 2종 오류를 범할 확률이 크다는 단점이 지적되고 있다.(Schwert, 1989)

#### 2.4.1.2 PP 단위근 검정 방법

PP 단위근 검정 방법(Phillips and Perron, 1988)은 오차항이 자기상관 뿐만 아니라 이분산 현상까지 갖는 경우를 상정하여 단위근 검정을 실시하는 방법이다. 기본적인 모형은 DF 단위근 검정 방법에서 사용한 모형과 같지만, 두 단계에 걸쳐 검정을 시행한다는 차이점이 있다. 첫 번째 단계에서 DF 단위근 검정 통계량을 계산한 후 두 번째 단계에서는 추정된 오차항의 분산값을 이용하여 DF 단위근 검정 통계량을 변환시킨다. 이 두 번째 단계를 통해 자기상관과 이분산 현상의 영향을 제거시킨 검정 통계량을 이용해 단위근 검정을 실시한다.

PP 단위근 검정 방법은 제 2종 오류를 범할 확률이 작아 높은 검정력을 갖는다는 장점이 있다. 하지만, 자기상관이 심할 경우 제 1종 오류를 범할 확률이 크다는 것이 지적되었다. 또, 유한 표본에서는 PP 단위근 검정 방법이 ADF 단위근 검정 방법보다 검정력이 떨어질 수 있다 (Schwert, 1989).

단위근 검정을 위한 각 검정 방법이 장점과 단점을 모두 가지고 있다. 따라서, 본 연구에서는 ADF 단위근 검정과 PP 단위근 검정을 모두 실시한 후, 두 결과를 종합적으로 고려하여 단위근 검정을 하였다.

## 2.4.2 공적분 검정(Cointegration test)

단위근을 갖는 시계열들의 선형결합이 단위근을 갖지 않는 안정적인 시계열을 형성할 경우에 해당 시계열들은 공적분 관계에 있다고 말한다. 예를 들어 단위근을 갖는  $I(1)$ 의 두 시계열  $x_t$ 와  $y_t$ 가 있다고 가정하자. 일반적으로 두 시계열의 선형결합인  $z_t(=x_t - \beta y_t)$ 역시 단위근을 갖는  $I(1)$ 이 된다. 그러나,  $z_t$ 가  $I(0)$ 이 되게 하는  $\beta$ 가 존재하는 경우가 발생할 수 있는데, 이 때 두 시계열 간에는 공적분이 성립한다고 정의한다(이슬기, 2010). 두 시계열 간에 공적분이 성립한다면, 두 변수의 선형결합이 안정적인 시계열을 형성하고 이에 따라 장기적인 균형관계가 존재한다고 생각할 수 있다. 이러한 개념은 Engle and Granger(1987)에 의해 제시되었으며, 대표적인 공적분 검정 방법은 Engle and Granger(1987) 공적분 검정 방법과 Johansen(1988) 공적분 검정 방법이 있다.

공적분 검정의 장점은 각각 시계열이 가지고 있는 정보를 그대로 사용할 수 있다는 것이다. 시계열 자료를 분석할 때 단위근을 갖는 시계열은 차분을 통해 안정화하는 과정이 선행된다. 하지만 이렇게 차분을 할 경우에는 해당 시계열이 가지고 있는 장기적 정보가 사라진다는 단점이 있다. 이러한 단점을 보완할 수 있는 분석방법이 바로 공적분 검정 방법이다. 공적분 검정을 이용할 경우 원래의 시계열을 차분 없이 사용할 수 있어 자료가 갖는 정보를 그대로 사용할 수 있다는 장점이 있다.

### 2.4.2.1 Johansen 공적분 검정 방법

본 연구에서는 공적분 검정을 위해 Johansen(1988) 공적분 검정 방법을 사용하였다. Johansen 공적분 검정 방법은 벡터자기회귀모형을 바탕으로 공적분 관계를 검정하는 방법이다.  $I(1)$ 인 벡터  $y_t$ 를 차분항( $\Delta y_t$ )과 장기균형항( $\Pi y_{t-1}$ )으로 나누어 모형을 구분하며, 식으로 나타내면 (식 1)과 같다. 벡터자기회귀모형에서  $I(1)$ 인 변수들의 장기적인 균형관계를 나타내는  $\Pi$ 에 대한 위수(rank)의 개수가 공적분 관계 개수가 된다.

$$\Delta y_t = \Pi y_{t-1} + \sum_{i=1}^{p-1} \Gamma_i \Delta y_{t-i} + Bx_t + \epsilon_t \dots\dots\dots (식 1)$$

Johansen 공적분 검정 방법의 장점은 크게 두 가지가 있다. 첫째는 다변량 공적분 검정이 가능하다는 것이다. 벡터자기회귀모형을 이용하기 때문에 두 개의 변수뿐만 아니라 세 개 이상의 변수가 존재하는 모형에서도 사용이 가능하다. 두 번째 장점은 변수들 간의 종속관계에 상관없이 동일한 검정결과를 제공한다는 것이다. Engle and Granger(1987)의 공적분 검정 방법은 어떤 변수를 종속변수로 설정하는지에 따라 검정 결과가 달라질 수 있는데 이러한 한계점을 보완한 검정 방법이다. 따라서 에너지사용과 경제성장의 문제처럼 변수들 사이의 종속관계가 명확하지 않은 상황에서 더 유용하게 사용될 수 있는 검정 방법이다. 이러한 이유로 본 논문에서는 Johansen 공적분 검정 방법을 채택하였다.

### 2.4.3 Granger 인과관계 검정 방법(Granger Causality test)

전통적인 회귀분석에서는 경제이론에 의하여 독립변수와 종속변수를 미리 정하고 분석을 실시하였다. 그러나 원인과 결과가 불분명한 경우 또는 배경이 되는 이론이 존재하지 않는 경우에는 독립변수와 종속변수를 미리 정하기 어려우며, 모형설정의 오류가 발생할 수 있었다. 이러한 문제를 해결하기 위해 시차분포모형을 이용하여 원인과 결과를 확인할 수 있는 검정 방법이 Granger(1969)에 의해 제시되었다.

#### 2.4.3.1 VAR을 이용한 Granger 인과관계 검정 방법

Granger 인과관계를 검정하기 위해 단위근이 없는  $I(0)$ 시리즈 시계열  $X$ 와  $Y$ 에 대하여 다음 두 식과 같이 2변수 벡터자기회귀(VAR) 모형을 상정하자.

$$Y_t = \gamma_1 + \sum_{i=1}^m \alpha_{1,i} X_{t-i} + \sum_{j=1}^m \beta_{1,j} Y_{t-j} + \epsilon_{1,t} \dots\dots\dots (\text{식 } 2)$$

$$X_t = \gamma_2 + \sum_{i=1}^m \alpha_{2,i} X_{t-i} + \sum_{j=1}^m \beta_{2,j} Y_{t-j} + \epsilon_{2,t} \dots\dots\dots (\text{식 } 3)$$

위 두 식을 각각 한번은 제약조건 없이 추정하고, 한번은  $\alpha_{1,i} = 0 \quad i, \quad \beta_{2,j} = 0 \quad \forall j$ 이라는 제약조건하에서 추정한다. (식 2)를 추정한 결과  $\alpha_{1,i} = 0 \quad \forall i$  조건하에서의 회귀오차 제곱 합이 제약식이 없는 상황에서의 회귀오차 제곱 합보다 유의미하게 작은 경우  $X$ 가  $Y$ 를 Granger 인과한다고 말한다. 또, (식 3)을 추정한 결과  $\beta_{2,j} = 0 \quad \forall j$  조건

하에서의 회귀오차 제곱 합이 제약식이 없는 상황에서의 회귀오차 제곱의 합보다 유의미하게 작은 경우  $Y$ 가  $X$ 를 Granger 인과한다고 표현한다. 즉, 이 검정 방법에서의 귀무가설은 다음 (식 4), (식 5)와 같으며, 각 귀무가설의 기각 및 채택 결과를 [표 2-5]와 같이 해석할 수 있다.

$$H_0 : \alpha_{1,i} = 0 \quad \forall i \dots\dots\dots (식 4)$$

$$H_0 : \beta_{2,j} = 0 \quad \forall j \dots\dots\dots (식 5)$$

[ 표 2-5 ] Granger 인과관계 검정 결과 해석

구분	$H_0 : \alpha_{1,i} = 0 \quad \forall i$	$H_0 : \beta_{2,j} = 0 \quad \forall j$	인과관계
Case 1	기각	채택	$X \rightarrow Y$ 단방향
Case 2	채택	기각	$Y \rightarrow X$ 단방향
Case 3	기각	기각	$X \Leftrightarrow Y$ 양방향
Case 4	채택	채택	인과관계 없음

### 2.4.3.2 VECM을 이용한 Granger 인과관계 검정 방법

시계열  $X$ 와  $Y$ 가 I(1)시리즈 이고, 두 변수사이에 공적분 관계가 성립한다면, (식 2)와 (식 3)은 Granger의 대표성정리(1987)에 따라 벡터 오차수정모형(Vector Error Correction Model)형태인 (식 6)와 (식 7)로 표현할 수 있다.

$$\Delta Y_t = \gamma_3 + \sum_{i=1}^{m-1} \alpha_{3,i} \Delta X_{t-i} + \sum_{j=1}^{m-1} \beta_{3,j} \Delta Y_{t-j} + \delta_3 ECT_{t-1} + \epsilon_{3,t} \dots\dots\dots (\text{식 } 6)$$

$$\Delta X_t = \gamma_4 + \sum_{i=1}^{m-1} \alpha_{4,i} \Delta X_{t-i} + \sum_{j=1}^{m-1} \beta_{4,j} \Delta Y_{t-j} + \delta_4 ECT_{t-1} + \epsilon_{4,t} \dots\dots\dots (\text{식 } 7)$$

$$ECT_t = Y_t - \alpha_0 - \beta_0 X_t \dots\dots\dots (\text{식 } 8)$$

위와 같이 벡터오차수정모형으로 표현하면, 단기적·장기적 인과관계를 각각 검정할 수 있다는 장점이 있다. 또, 단기적·장기적 인과관계가 동시에 존재하는 강 인가관계(Strong Causality)도 파악할 수 있다.

본 연구에서는 앞 절에서 살펴본 VAR모형을 이용한 Granger 인과관계 검정 방법과, 본 절에서 살펴본 VECM을 이용한 Granger 인과관계를 각 상황에 맞게 사용하였다. 즉, 두 변수사이에 공적분 관계가 존재하는 경우에는 VECM모형을 사용하고, 그렇지 않은 경우에는 차분을 통해 시계열을 안정화시킨 후 VAR모형을 사용하였다.

## 제 3 장 실증분석

### 제 1 절 분석자료

본 연구에서는 석탄사용국가의 연간 석탄소비량, 실질 GDP를 사용하였다. 분석 기간은 자료의 활용이 가능한 1980년부터 2012년까지 총 33년의 연간자료를 사용하였다. 국가별 석탄소비량 자료는 미국 에너지정보청(Energy Information Association; EIA)의 자료를 활용하였으며, 국가별 실질 GDP자료는 국제통화기금(International Monetary Fund; IMF)에서 제공하는 자료를 활용하였다.

EIA에서 제공하는 연간 석탄소비량 자료와 IMF의 실질GDP자료가 모두 존재하는 국가는 총 56개 국가이다. 하지만, 다음 절에서 살펴볼 단위근 검정 결과를 토대로 본 연구에 대상 국가를 분석이 가능한 31개 국가로 한정하였다. 본 연구에서 사용한 방법론에서는 두 변수가 모두  $I(0)$  시계열이거나  $I(1)$  시계열인 경우만 분석이 가능하다. 따라서  $I(0)$ · $I(1)$  시계열이 혼재된 48개 국가는 본 연구의 대상국가에서 제외하였다.

본 연구의 대상국가인 31개 국가의 석탄소비량·실질GDP의 기초통계량은 다음 [표 3-1], [표 3-2]와 같다.

[ 표 3-1 ] 국가별 연간 석탄소비량 기초통계량 (1980년 ~ 2012년)

단위 : Thousand short ton

국가	평균	최대값	최소값	표준편차
캐나다	57770.48	69616.47	41321.24	7801.73
멕시코	13012.72	20961.55	5021.03	5338.69
미국	952309.48	1127998.13	702729.74	129608.85
브라질	20387.87	27659.20	10575.58	4307.86
오스트리아	6917.20	9095.17	4538.22	1094.22
덴마크	10266.33	16590.89	4625.30	2748.71
헝가리	20507.47	32641.64	11655.84	6928.85
아이슬란드	118.01	177.47	30.86	37.70
이탈리아	22858.36	27974.46	17725.17	3154.70
폴란드	185632.50	258260.53	140908.46	35484.50
루마니아	47778.59	77723.97	30790.86	11013.43
스웨덴	3844.88	5053.00	2451.54	660.22
스위스	390.59	799.18	149.91	198.38
터키	70352.13	111897.83	22599.59	25749.11
영국	89368.56	133560.45	53273.61	27003.61
이스라엘	8391.97	16534.67	1.10	5025.06
알제리	988.84	1531.11	402.34	272.00
말라위	43.75	75.00	12.13	21.89
남아공	165127.72	216854.41	104765.88	29633.33
호주	121071.37	158349.23	73439.29	27120.67
홍콩	9159.53	13810.72	30.50	3724.86
인도네시아	23906.61	66403.24	643.53	22698.87
일본	150426.23	207580.66	97571.09	36798.68
대한민국	68746.21	140087.24	30765.51	29912.93
말레이시아	6659.73	27245.83	88.18	8071.39
네팔	230.38	546.75	14.33	166.93
뉴질랜드	2874.40	4733.50	1840.13	739.95
파키스탄	5344.73	11145.47	2180.85	2365.95
싱가포르	13.76	65.26	0.00	14.90
타이완	38654.98	73330.63	6058.96	23660.68
태국	21293.01	43972.30	1620.29	12695.55



[ 표 3-2 ] 국가별 실질GDP 기초통계량 (1980년 ~ 2012년)

단위 : National currency(scale : billion)

국가	평균	최대값	최소값	표준편차
캐나다	1177.10	1672.07	754.00	297.30
멕시코	9076.62	13286.20	6105.87	2237.47
미국	10902.52	15369.20	6450.40	2987.84
브라질	770.17	1213.36	496.13	207.58
오스트리아	228.63	305.92	159.88	49.05
덴마크	1489.42	1878.20	1042.10	274.32
헝가리	18486.76	23540.00	14843.10	2829.42
아이슬란드	806.26	12223.9	508.23	231.17
이탈리아	1407.35	1687.96	1048.87	206.73
폴란드	916.16	1532.32	592.02	295.41
루마니아	426.92	579.10	326.93	72.11
스웨덴	2714.94	3737.92	1889.80	618.11
스위스	475.73	623.90	359.47	81.90
터키	66.08	117.63	30.49	25.65
영국	1221.56	1637.43	790.50	288.24
이스라엘	521.96	934.52	244.51	215.04
알제리	4092.851	6361.25	2584.78	1109.67
말라위	381.65	683.07	224.11	132.44
남아공	1938.29	2899.25	1404.90	471.92
호주	949.553	1505.62	543.18	300.75
홍콩	1163.83	2037.06	454.25	472.55
인도네시아	3906060.61	7700000.00	1600000.00	1731498.52
일본	433113.80	523686.00	269834.00	78717.38
대한민국	683134.09	1300000.00	163065.00	373485.19
말레이시아	370.91	751.94	121.76	194.12
네팔	367.22	670.28	161.55	152.24
뉴질랜드	142.30	203.30	93.87	36.53
파키스탄	5175.20	9470.26	2014.24	2265.52
싱가포르	158.97	354.06	43.81	92.52
타이완	7588.11	14607.60	2331.59	3881.66
태국	2723.67	4898.19	913.70	1235.66

## 제 2 절 분석결과

본 연구에서는 다음과 같은 순서로 분석을 실시하였다.

첫째, ADF 단위근 검정 방법과 PP 단위근 검정 방법을 통해 시계열 자료의 단위근 검정을 실시하였다.

둘째, Johansen 공적분 검정 방법을 통해 각 국가의 석탄소비량과 실질GDP 사이의 공적분 관계 유무를 검정하였다.

셋째, 두 변수 사이에 공적분 관계가 없는 국가의 경우 VAR모형을 이용한 Granger 인과관계 검정을 실시하였다.

넷째, 두 변수 사이에 공적분 관계가 있는 국가의 경우 VECM을 이용한 Granger 인과관계 검정을 실시하였다.

추가로 본 연구에서는 모든 검정에서의 귀무가설 기각기준을 5%로 설정하였다.

### 3.2.1 단위근 검정(Unit root test) 결과

본격적인 분석에 앞서, 시계열 자료의 특성상 전체 기간에 걸쳐 각 변수들의 단위근 검정을 실시하였다. 분석기간동안 두 변수의 자료가 모두 존재하는 총 56개 국가 중 두 변수 모두  $I(1)$ 으로 나타난 국가는 31개 국가이다. 단위근 검정결과 분석대상에서 제외된 25개 국가의 단위근 검정 결과는 부록을 통해 다루기로 하고, 본 절에서는 분석 대상국인 31개국의 석탄소비량, 실질GDP의 단위근 검정 결과만을 정리하였으며 그 결과는 [표 3-3], [표 3-4]와 같다. 31개 국가 모두 수준변수에서는 단위근이 존재한다는 귀무가설을 기각하지 못하고, 1차 차분변수에서는 단위근이 존재한다는 귀무가설을 기각하는  $I(1)$ 시계열이다.

[ 표 3-3 ] 국가별 석탄소비량 단위근 검정 결과

국 가	ADF 단위근 검정		PP 단위근 검정	
	수준변수	1차 차분변수	수준변수	1차 차분변수
캐나다	0.4110	0.0001 ***3)	0.3546	0.0001 ***
멕시코	0.8379	0.0000 ***	0.8790	0.0000 ***
미국	0.3193	0.0002 ***	0.3235	0.0001 ***
브라질	0.3565	0.0000 ***	0.3880	0.0000 ***
오스트리아	0.3569	0.0000 ***	0.4267	0.0000 ***
덴마크	0.4358	0.0000 ***	0.4853	0.0000 ***
헝가리	0.6937	0.0000 ***	0.6946	0.0000 ***
아이슬란드	0.1652	0.0000 ***	0.1809	0.0000 ***
이탈리아	0.2725	0.0000 ***	0.2460	0.0000 ***
폴란드	0.8335	0.0001 ***	0.7732	0.0001 ***

3) \*\*\* 1% 유의수준에서 기각, \*\* 5% 유의수준에서 기각, \* 10% 유의수준에서 기각

국 가	ADF 단위근 검정		PP 단위근 검정	
	수준변수	1차 차분변수	수준변수	1차 차분변수
루마니아	0.5110	0.0004 ***	0.4489	0.0006 ***
스웨덴	0.2959	0.0001 ***	0.2268	0.0001 ***
스위스	0.7477	0.0000 ***	0.7710	0.0000 ***
터키	0.6871	0.0000 ***	0.6835	0.0000 ***
영국	0.4892	0.0000 ***	0.5064	0.0000 ***
이스라엘	0.8920	0.0030 ***	0.8909	0.0045 ***
알제리	0.1346	0.0000 ***	0.1162	0.0000 ***
말라위	0.4020	0.0000 ***	0.3875	0.0000 ***
남아공	0.5030	0.0000 ***	0.4692	0.0000 ***
호주	0.5228	0.0000 ***	0.4802	0.0000 ***
홍콩	0.1711	0.0000 ***	0.1634	0.0000 ***

국 가	ADF 단위근 검정		PP 단위근 검정	
	수준변수	1차 차분변수	수준변수	1차 차분변수
인도네시아	0.9961	0.0000 ***	0.9973	0.0000 ***
일본	1.0000	0.0007 ***	1.0000	0.0005 ***
대한민국	0.7229	0.0000 ***	0.8190	0.0000 ***
말레이시아	0.3011	0.0000 ***	0.3222	0.0000 ***
네팔	0.6466	0.0000 ***	0.6278	0.0000 ***
뉴질랜드	0.1328	0.0000 ***	0.1205	0.0000 ***
파키스탄	0.9481	0.0003 ***	0.9419	0.0003 ***
싱가포르	0.8373	0.0000 ***	0.8444	0.0000 ***
타이완	0.8332	0.0000 ***	0.8826	0.0000 ***
태국	0.9985	0.0006 ***	0.9982	0.0004 ***

[ 표 3-4 ] 국가별 실질GDP 단위근 검정 결과

국 가	ADF 단위근 검정		PP 단위근 검정	
	수준변수	1차 차분변수	수준변수	1차 차분변수
캐나다	0.9890	0.0008 ***	0.9867	0.0011 ***
멕시코	0.9931	0.0000 ***	0.9964	0.0000 ***
미국	0.9421	0.0035 ***	0.9373	0.0047 ***
브라질	0.9991	0.0001 ***	1.0000	0.0001 ***
오스트리아	1.0000	0.0257 ***	1.0000	0.0413 **
덴마크	0.6127	0.0010 ***	0.6463	0.0010 ***
헝가리	0.9149	0.0183 **	0.8345	0.0163 **
아이슬란드	0.9961	0.0097 ***	0.9496	0.0115 **
이탈리아	0.2425	0.0061 ***	0.2983	0.0067 ***
폴란드	1.0000	0.0053 ***	0.9990	0.0053 ***

국 가	ADF 단위근 검정		PP 단위근 검정	
	수준변수	1차 차분변수	수준변수	1차 차분변수
루마니아	0.9310	0.0312 **	0.7977	0.0289 **
스웨덴	0.9822	0.0001 ***	0.9842	0.0001 ***
스위스	0.9928	0.0008 ***	0.9924	0.0013 ***
터키	0.9960	0.0000 ***	0.9979	0.0000 ***
영국	0.9049	0.0036 ***	0.9009	0.0042 ***
이스라엘	1.0000	0.0045 ***	1.0000	0.0057 ***
알제리	0.9990	0.0246 **	0.9980	0.0198 **
말라위	0.9990	0.0001 ***	0.9991	0.0000 ***
남아공	1.0000	0.0121 **	0.9990	0.0109 **
호주	1.0000	0.0257 **	1.0000	0.0413 **
홍콩	0.9936	0.0001 ***	0.9947	0.0001 ***

국 가	ADF 단위근 검정		PP 단위근 검정	
	수준변수	1차 차분변수	수준변수	1차 차분변수
인도네시아	1.0000	0.0204 **	0.9990	0.0223 **
일본	0.9991	0.0001 ***	1.0000	0.0001 ***
대한민국	1.0000	0.0051 ***	1.0000	0.0045 ***
말레이시아	0.9941	0.0136 **	0.9873	0.0125 **
네팔	1.0000	0.0431 **	0.9990	0.0470 **
뉴질랜드	1.0000	0.0002 ***	1.0000	0.0002 ***
파키스탄	0.9986	0.0000 ***	1.0000	0.0000 ***
싱가포르	0.9878	0.0002 ***	0.9844	0.0002 ***
타이완	0.0550	0.0002 ***	0.0452	0.0002 ***
태국	0.9982	0.0000 ***	0.9991	0.0000 ***



### 3.2.2 공적분 검정(Cointegration test) 결과

Johansen 공적분 검정 방법은 공적분 검정 내에 포함된 변수의 시차 따라 그 결과가 상이하게 나타난다. 본 연구에서는 모든 국가에 동일한 기준을 적용하기 위해 가장 널리 사용되는 AIC(Akaike Information Criterion)기준을 토대로 공적분 검정에 사용할 최적 시차를 결정하였다. 본 절에서는 각 국가별로 결정된 시차만 제시하며, 기타 자세한 결정과정은 부록을 통해 다루기로 한다.

Johansen 공적분 검정 방법은 단계적으로 귀무가설 검정을 실시하여 공적분 관계 유무를 검정한다. 본 연구는 두 개의 변수를 기준으로 하기 때문에 총 두 단계의 귀무가설을 설정 및 실시한다. 첫 번째로 공적분 개수(rank)가 0이라는 귀무가설을 검정한 후, 두 번째로 공적분 개수가 1이하라는 귀무가설을 검정한다. 따라서 첫 번째 귀무가설을 기각하고, 두 번째 귀무가설을 기각하지 못하는 경우 공적분 개수가 1이라는 결론을 얻을 수 있다. 이러한 경우는 공적분 관계가 있다고 해석 가능하며, 두 변수 간에 장기적 균형관계가 존재한다고 할 수 있다.

31개 국가를 대상으로 전체기간(1980년 ~ 2012년)의 석탄소비량과 실질GDP 자료를 이용하여 Johansen 공적분 검정을 실시한 결과는 다음 [표 3-5]과 같다. 총 31개 국가 중 두 변수 사이에 공적분 관계가 있는 것으로 나타난 국가는 브라질, 아이슬란드, 폴란드, 남아공, 호주, 홍콩, 인도네시아, 네팔, 파키스탄, 싱가포르, 태국이고, 나머지 20개 국가는 두 변수 간에 공적분 관계가 없는 것으로 나타났다. 분석결과 해석 시 알제리는 두 번의 귀무가설을 모두 기각하여 1%유의수준 하에서 공적분 유무를 알 수 없는 것으로 나타났다. 추가로 네팔, 파키스탄, 싱가포르는 5% 유의수준 하에서는 공적분 유무를 알 수 없는 것으로 나타났으나,

1% 유의수준 하에서 공적분 관계가 있는 것으로 분석되어 공적분 관계가 있다고 해석하였다.

공적분 관계 검정결과 11개 국가는 석탄소비량과 실질GDP사이에 장기적 균형관계가 존재하지만, 나머지 20개 국가는 두 변수 사이에 장기적 균형관계가 존재하지 않는 것으로 나타났다.

[ 표 3-5 ] Johansen 공적분 검정 결과

국 가	시차	가 설	trace 통계치	공적분 관계
브라질	1	$r = 0$	26.4299***	있음
		$r \leq 1$	3.2875	
아이슬란드	1	$r = 0$	16.4879**	있음
		$r \leq 1$	0.0813	
폴란드	3	$r = 0$	17.8201**	있음
		$r \leq 1$	0.0412	
남아공	1	$r = 0$	17.8387**	있음
		$r \leq 1$	1.9989	
호주	1	$r = 0$	17.0354**	있음
		$r \leq 1$	0.0186	
홍콩	3	$r = 0$	15.6340**	있음
		$r \leq 1$	0.2990	
인도네시아	1	$r = 0$	18.2068**	있음
		$r \leq 1$	1.8890	
네팔	4	$r = 0$	35.1218***	있음
		$r \leq 1$	4.3245**	
파키스탄	4	$r = 0$	29.1513***	있음
		$r \leq 1$	4.6683**	
싱가포르	3	$r = 0$	28.0342***	있음
		$r \leq 1$	5.5874**	
태국	1	$r = 0$	18.7160***	있음
		$r \leq 1$	0.5570	

국 가	시 차	가 설	trace 통계치	공적분 관계
캐나다	1	$r = 0$	14.6820	-
		$r \leq 1$	0.7099	
멕시코	1	$r = 0$	11.4859	-
		$r \leq 1$	0.1171	
미국	4	$r = 0$	13.6794	-
		$r \leq 1$	1.6978	
오스트리아	1	$r = 0$	9.2159	-
		$r \leq 1$	0.1532	
덴마크	1	$r = 0$	11.1353	-
		$r \leq 1$	2.2875	
헝가리	2	$r = 0$	4.6653	-
		$r \leq 1$	1.3140	
이탈리아	1	$r = 0$	9.3554	-
		$r \leq 1$	3.0565	
루마니아	3	$r = 0$	12.7972	-
		$r \leq 1$	0.0287	
스웨덴	1	$r = 0$	12.8017	-
		$r \leq 1$	0.1412	
스위스	1	$r = 0$	4.6608	-
		$r \leq 1$	1.0158	

국 가	시 차	가 설	trace 통 계 치	공 적 분 관 계
터 키	1	$r = 0$	10.5033	-
		$r \leq 1$	1.8018	
영 국	1	$r = 0$	8.3246	-
		$r \leq 1$	0.9366	
이스 라 엘	2	$r = 0$	10.1336	-
		$r \leq 1$	1.2772	
알 제 리	4	$r = 0$	24.8028***	(알 수 없음)
		$r \leq 1$	9.3207***	
말 라 위	1	$r = 0$	12.1115	-
		$r \leq 1$	3.5906	
일 본	2	$r = 0$	11.1479	-
		$r \leq 1$	2.5549	
대 한 민 국	1	$r = 0$	9.9709	-
		$r \leq 1$	0.0111	
말 레 이 시 아	1	$r = 0$	13.6510	-
		$r \leq 1$	0.5131	
뉴 질 란 드	2	$r = 0$	7.7440	-
		$r \leq 1$	0.3797	
타 이 완	3	$r = 0$	9.9748	-
		$r \leq 1$	2.6435	

### 3.2.3 Granger 인과관계 검정(Granger causality test) 결과

앞 절에서 살펴본 Johansen 공적분 검정 결과를 바탕으로 공적분이 존재하는 11개 국가는 VECM을 이용한 Granger 인과관계 검정을 실시하였다. 또, 공적분 관계가 존재하지 않는 20개 국가는 VAR을 이용한 Granger 인과관계 검정을 실시하였다.

#### 3.2.3.1 VAR을 이용한 Granger 인과관계 검정 결과

3.2.2절에서 살펴본 Johansen 공적분 검정 결과 석탄소비량과 실질GDP사이에 공적분 관계가 없는 것으로 나타난 20개 국가에 대해서는 VECM을 사용할 수 없다. 따라서 VAR모형을 이용한 Granger 인과관계 검정을 실시하였다.

검정결과는 다음 [표 3-6]과 같다. 검정결과 경제성장(실질GDP)이 석탄사용을 증가시킨다( $GDP \rightarrow Coal$ )는 인과관계가 나온 국가는 터키, 대한민국, 뉴질랜드이다. 반대로, 석탄소비량의 증가가 경제성장(실질GDP)을 야기한다는 인과관계가 나온 국가는 멕시코, 미국, 이스라엘이다. 나머지 14개 국가에서는 두 변수 사이에 인과관계가 발견되지 않았다.

[ 표 3-6 ] VAR을 이용한 Granger 인과관계 검정 결과

국 가	lag	인과관계	$\chi^2$ 통계량	p-value
캐나다	1	GDP → Coal	0.3840	0.535
		Coal → GDP	0.4589	0.498
멕시코	1	GDP → Coal	0.9476	0.330
		<b>Coal → GDP</b>	<b>4.3557**</b>	<b>0.037</b>
미국	3	GDP → Coal	5.6744	0.129
		<b>Coal → GDP</b>	<b>9.2207**</b>	<b>0.026</b>
오스트리아	1	GDP → Coal	0.2817	0.596
		Coal → GDP	0.3981	0.528
덴마크	1	GDP → Coal	0.2555	0.613
		Coal → GDP	0.3675	0.544
헝가리	1	GDP → Coal	0.3807	0.537
		Coal → GDP	0.0085	0.927
이탈리아	1	GDP → Coal	0.0061	0.938
		Coal → GDP	2.6891	0.101
루마니아	2	GDP → Coal	4.5902	0.101
		Coal → GDP	4.1641	0.125
스웨덴	1	GDP → Coal	1.4818	0.223
		Coal → GDP	0.5741	0.449

국 가	lag	인과관계	$\chi^2$ 통계량	p-value
스위스	2	GDP → Coal	3.4855	0.175
		Coal → GDP	3.1963	0.202
터키	1	<b>GDP → Coal</b>	<b>4.9626**</b>	<b>0.026</b>
		Coal → GDP	0.4966	0.481
영국	1	GDP → Coal	0.4494	0.503
		Coal → GDP	1.5072	0.220
이스라엘	1	GDP → Coal	0.0366	0.848
		<b>Coal → GDP</b>	<b>13.038***</b>	<b>0.000</b>
알제리	2	GDP → Coal	0.1387	0.933
		Coal → GDP	3.4779	0.176
말라위	2	GDP → Coal	1.7809	0.410
		Coal → GDP	2.6786	0.262
일본	1	GDP → Coal	3.1832	0.074
		Coal → GDP	2.6061	0.106
대한민국	3	<b>GDP → Coal</b>	<b>9.537**</b>	<b>0.023</b>
		Coal → GDP	1.5193	0.678
말레이시아	3	GDP → Coal	1.8966	0.594
		Coal → GDP	4.5327	0.209
뉴질랜드	1	<b>GDP → Coal</b>	<b>7.1285***</b>	<b>0.008</b>
		Coal → GDP	0.1508	0.698
타이완	1	GDP → Coal	0.6943	0.405
		Coal → GDP	1.6574	0.198



### 3.2.3.2 VECM을 이용한 Granger 인과관계 검정 결과

3.3.2 절에서 살펴본 것과 같이 석탄소비량과 실질GDP 사이에 공적분이 존재하는 국가는 11개 국가이다. 이 11개 국가에 대해서는 VECM을 이용한 Granger 인과관계 검정을 실시하였고, 그 결과는 다음 [표 3-7]과 같다.

VECM을 이용한 Granger 인과관계 검정은 총 세 가지 검정결과를 제시한다. 단기적 인과관계, 장기적 인과관계, 강인과관계(Strong Causality)가 그 세 가지이다. 여기서 강인과관계란 장·단기적 인과관계의 결과를 모두 종합하여 인과관계를 검정하는 것이다. 하지만, 시차가 1인 모형에서는 모형의 특성상 단기적 인과관계를 볼 수 없고, 장기적 인과관계만을 확인할 수 있다. 따라서 장·단기적 인과관계를 모두 고려하는 강인과관계 역시 시차가 1인 모형에서는 검정할 수 없다.

VECM을 이용한 Granger 인과관계 검정 결과 경제성장(실질GDP)이 석탄소비량의 증가를 야기한다는 단방향 인과관계가 나온 국가는 아이슬란드, 홍콩, 태국이다. 반대로, 석탄소비량의 증가가 경제성장(실질GDP)을 야기한다는 결과가 나온 국가는 호주, 인도네시아, 네팔, 파키스탄, 싱가포르이다. 추가로 두 변수간의 인과관계가 양방향으로 나타난 국가는 브라질, 폴란드, 남아공이다. 주목할 점은 석탄소비량과 실질GDP 사이에 공적분관계가 존재하는 11개 국가들 중에는 두 변수사이에 인과관계가 없는 국가가 존재하지 않는다는 것이다.

[ 표 3-7 ] VECM을 이용한 Granger 인과관계 검정 결과

국 가	lag	인과관계		$\chi^2$ 통계량	p-value
브라질	1	GDP → Coal	Long-run	<b>4.13**</b>	<b>0.0422</b>
		Coal → GDP	Long-run	<b>4.17**</b>	<b>0.0411</b>
아이슬란드	1	GDP → Coal	Long-run	<b>9.51***</b>	<b>0.0020</b>
		Coal → GDP	Long-run	2.04	0.1531
폴란드	3		Short-run	<b>16.77***</b>	<b>0.0002</b>
		GDP → Coal	Long-run	<b>17.28***</b>	<b>0.0000</b>
			Strong	<b>20.89***</b>	<b>0.0001</b>
			Short-run	<b>9.76***</b>	<b>0.0076</b>
		Coal → GDP	Long-run	<b>7.65***</b>	<b>0.0057</b>
			Strong	<b>16.77***</b>	<b>0.0008</b>
남아공	1	GDP → Coal	Long-run	<b>4.72**</b>	<b>0.0297</b>
		Coal → GDP	Long-run	<b>7.24***</b>	<b>0.0071</b>
호주	1	GDP → Coal	Long-run	2.33	0.1266
		Coal → GDP	Long-run	<b>13.86***</b>	<b>0.0002</b>

국 가	lag	인과관계	$\chi^2$ 통계량	p-value	
홍콩	3		Short-run	9.05**	0.0108
		GDP → Coal	Long-run	11.63***	0.0006
			Strong	18.38***	0.0004
			Short-run	3.26	0.1963
		Coal → GDP	Long-run	6.44**	0.0112
			Strong	9.60**	0.0223
인도네시아	1	GDP → Coal	Long-run	0.77	0.3804
		Coal → GDP	Long-run	17.80***	0.0000
네팔	4		Short-run	3.11	0.3757
		GDP → Coal	Long-run	4.44	0.3494
			Strong	3.59	0.0583
			Short-run	22.55***	0.0001
		Coal → GDP	Long-run	37.97***	0.0000
			Strong	38.36***	0.0000

국 가	lag	인과관계	$\chi^2$ 통계량	p-value	
파키스탄	4		Short-run	1.36	0.7140
		GDP $\rightarrow$ Coal	Long-run	<b>4.34**</b>	<b>0.0373</b>
			Strong	6.27	0.1799
			Short-run	<b>8.30**</b>	<b>0.0401</b>
		Coal $\rightarrow$ GDP	Long-run	<b>8.42***</b>	<b>0.0037</b>
			Strong	<b>27.87***</b>	<b>0.0000</b>
싱가포르	3		Short-run	0.39	0.8223
		GDP $\rightarrow$ Coal	Long-run	1.60	0.2054
			Strong	4.52	0.2106
			Short-run	<b>6.71**</b>	<b>0.0349</b>
		Coal $\rightarrow$ GDP	Long-run	<b>19.80***</b>	<b>0.0000</b>
			Strong	<b>20.61***</b>	<b>0.0001</b>
태국	1	GDP $\rightarrow$ Coal	Long-run	<b>22.89***</b>	<b>0.0000</b>
		Coal $\rightarrow$ GDP	Long-run	1.08	0.2997

### 3.2.3.3 Granger 인과관계 검정 결과 종합

본 절에서 지금까지 살펴본 두 가지 방법에 의한 Granger인과관계 검정 결과를 종합하고자 한다. VECM을 이용한 Granger 인과관계 검정의 경우 장·단기적 인과관계와 강 인과관계(strong causality)를 종합적으로 고려하여 인과관계를 판정했다.

그 결과를 표로 정리하면 다음 [표 3-8]과 같다. 인과관계 판정 종합 결과 경제성장(실질GDP)이 석탄소비량을 증가시킨다는 단방향 인과관계를 갖는 국가는 터키, 대한민국, 뉴질랜드 등 6개 국가이다. 반대로 석탄소비량의 증가가 경제성장(실질GDP)을 야기한다는 결과를 나타낸 국가는 멕시코, 미국 등 8개 국가이다. 두 변수사이에 양방향 인과관계가 존재하는 국가는 브라질, 폴란드, 남아공 3개국이다. 마지막으로, 나머지 14개 국가는 석탄소비량과 실질GDP사이에 특별한 인과관계가 존재하지 않는 것으로 나타났다.

[ 표 3-8 ] Granger 인과관계 검정 결과 종합

인과관계	모형	국가
Economic growth → Coal consumption	VAR	터키
		대한민국
	VECM	뉴질랜드
		아이슬란드
Coal consumption → Economic growth	VAR	홍콩
		태국
	VECM	멕시코
		미국
Economic growth ⇔ Coal consumption	VAR	이스라엘
		호주
	VECM	인도네시아
		네팔
no causality	VAR	파키스탄
		싱가포르
	VECM	브라질
		폴란드
no causality	VAR	남아공
		캐나다
		오스트리아
		덴마크
		헝가리
		이탈리아
		루마니아
		스웨덴
		스위스
		영국
		알제리
		말라위
		일본
		말레이시아
		타이완

## 제 4 장 분석결과 국제비교

본 절에서는 제3장에서 인과관계의 유무와 방향이 각 국가별로 상이하게 나오는 이유를 찾기 위해 가설을 세우고, 가설의 타당성에 대하여 논의하였다. 기존의 선행연구들에서 본 연구와 유사한 실증분석들이 존재하였지만, 각 국가별로 결과가 상이하게 발생한 이유를 명확히 밝히지 못했다. 이에 본 연구에서는 국가별로 상이한 결과를 나타내는 이유를 총 두 가지 가설을 통해 접근하였다. 첫 번째로 환경규제의 영향이 두 변수사이의 관계에 영향을 미쳤을 것이라는 가설을 가지고 접근하였다. 두 번째로는 각 국가의 발전부문에서 석탄화력발전이 차지하는 비중의 변화가 특정한 영향을 미쳤을 것이라고 가설을 세우고 접근하였다. 이 두 가지 가설과 그를 통한 각 국가별 인과관계 방향을 비교한 결과를 본 장의 다음 두 절에서 자세히 논하였다.

### 제 1 절 환경규제와 인과관계

앞서 2장에서 살펴본 것과 같이 석탄은 화석에너지원 중에서 가장 많은 탄소를 배출하는 에너지원이다. 따라서 석탄과 환경문제는 떼놓을 수 없는 관계이다. 본 절은 이러한 관점에서 가설을 세웠다. 본 연구에서는 환경규제를 나타낼 수 있는 변수로 2002년에 발표된 Kyoto Protocol의 온실가스 의무감축 대상여부를 이용하였다. 즉, 온실가스 의무감축 대상 국가들은 석탄에 대한 의존도가 낮고, 그에 따라 두 변수 사이에 특별한 인과관계가 없을 것이라는 가설을 세웠다.

본 논문의 분석 대상국가인 총 31개 국가 중 2002년에 발표된 온실가스 의무감축 대상 국가는 12개 국가로 폴란드, 미국, 헝가리, 덴마크, 캐

나다, 영국, 오스트리아, 스웨덴, 일본, 루마니아, 이탈리아이다. 이를 이용하여 석탄소비량과 경제성장 사이의 인과관계 분석결과를 비교한 결과는 다음 [표 4-1]과 같다.

[표 4-1]에서 볼 수 있듯, 12개 의무감축 대상국가 중 미국과 폴란드를 제외한 10개 국가는 두 변수사이에 특별한 인과관계가 없는 것을 알 수 있다. 이와는 반대로, 의무감축 대상국이 아닌 19개 국가 중 4개 국가(알제리, 말라위, 말레이시아, 타이완)를 제외한 나머지 15개 국가는 두 변수사이에 인과관계가 존재하는 것으로 나타났다. 이러한 결과로 미루어 볼 때 환경규제의 유무는 두 변수의 인과관계 유무에 영향을 미칠 가능성이 클 것으로 판단된다.

예외 국가로 나타난 미국과 폴란드가 이러한 결과가 나온 이유를 살펴볼 필요가 있다. 미국과 폴란드는 대표적으로 석탄소비량이 큰 국가이다. 미국은 발전부문의 석탄화력발전 비중이 50%를 상회하고, 폴란드는 석탄화력발전 비중이 80%를 넘는 국가이다. 이 두 국가는 이렇게 높은 석탄 의존도 때문에 다른 10개 국가와는 다른 결과가 발생한 것이라 생각한다.



[ 표 4-1 ] 온실가스 의무감축 대상 여부와 인과관계 비교

국 가	인과관계	의무감축
미국	Coal consumption → Economic growth	대상
폴란드	Economic growth ⇔ Coal consumption	대상
캐나다	no causality	대상
오스트리아	no causality	대상
덴마크	no causality	대상
헝가리	no causality	대상
이탈리아	no causality	대상
루마니아	no causality	대상
스웨덴	no causality	대상
스위스	no causality	대상
영국	no causality	대상
일본	no causality	대상
터키	Economic growth → Coal consumption	
대한민국	Economic growth → Coal consumption	
뉴질랜드	Economic growth → Coal consumption	
아이슬란드	Economic growth → Coal consumption	
홍콩	Economic growth → Coal consumption	

국 가	인과관계	의무감축
태국	Economic growth $\rightarrow$ Coal consumption	
멕시코	Coal consumption $\rightarrow$ Economic growth	
이스라엘	Coal consumption $\rightarrow$ Economic growth	
파키스탄	Coal consumption $\rightarrow$ Economic growth	
호주	Coal consumption $\rightarrow$ Economic growth	
네팔	Coal consumption $\rightarrow$ Economic growth	
인도네시아	Coal consumption $\rightarrow$ Economic growth	
싱가포르	Coal consumption $\rightarrow$ Economic growth	
브라질	Economic growth $\Leftrightarrow$ Coal consumption	
남아공	Economic growth $\Leftrightarrow$ Coal consumption	
알제리	no causality	
말라위	no causality	
말레이시아	no causality	
타이완	no causality	

앞의 [표 4-1]을 통해 환경규제가 강한 12개 국가 중 10개 국가에서 석탄소비량과 경제성장지표 간의 인과관계가 존재하지 않는 것을 확인하였다. 여기서 강한 환경규제가 인과관계에 영향을 준 것인지, 인과관계가 환경규제에 영향을 준 것인지를 확인할 필요가 있다. 이에 관해 본 논문에서는 환경규제가 인과관계에 영향을 준 것이라고 판단한다. 본 논문에서 환경규제의 도구변수로 채택한 교토의정서 의무감축 대상은 국가별로 자의적인 신청에 의해 채택된 것이 아니다. 즉, 교토의정서 당시 각 국가는 자발적으로 감축목표를 설정한 것이 아니라 의무감축 목표를 통보받았다는 점에서 각 국가의 석탄소비량과 경제성장간의 인과관계를 고려하지 않았다는 것을 알 수 있다.

보다 명확한 근거 제시를 위해 교토의정서 발표 이전인 2001년까지의 자료를 이용해 두 변수간의 인과관계를 분석하였다. 즉, 온실가스 의무감축 대상국 중 두 변수 간 인과관계가 없는 것으로 나타난 10개 국가를 대상으로 분석기간을 1980년부터 2001년까지로 설정한 인과관계 분석에서 두 변수 간 인과관계가 존재한다면, 환경규제를 이유로 의도적으로 석탄의존도를 줄인 것이라고 판단할 수 있다. 이를 위해 제 3장에서 인과관계 분석을 실시한 것과 같은 방법으로 인과관계 검정을 실시하였다. 단위근 검정 결과 총 10개 국가 중 6개 국가가 분석이 가능한 국가로 분류되었고, 나머지 4개 국가는  $I(1)$ 시계열과  $I(0)$ 시계열이 혼재되어 분석이 불가능 하였다. 인과관계 분석을 실시한 6개 국가 중 4개 국가에서 2002년 이전에는 두 변수 간 인과관계가 있다는 결과가 나왔다. 자세한 분석 결과는 다음 [표 4-2]를 통해 확인할 수 있다. 분석기간을 제한하여 추가적인 인과관계 검정을 실시하여 환경규제가 인과관계에 영향을 주었다는 것을 간접적으로 확인할 수 있었다.

[표 4-2] 2002년 이전 인과관계 분석 결과 (10개국 대상)

	단위근 검정 결과		공적분검정결과	인과관계 검정결과
	석탄소비량	실질GDP		
캐나다	I(1)시계열	I(1)시계열	있음	GDP → Coal
덴마크	I(1)시계열	I(1)시계열	-	Coal ⇔ GDP
스위스	I(1)시계열	I(1)시계열	-	GDP → Coal
영국	I(1)시계열	I(1)시계열	있음	Coal → GDP
오스트리아	I(1)시계열	I(1)시계열	-	no causality
이탈리아	I(1)시계열	I(1)시계열	-	no causality
헝가리	I(1)시계열	알 수 없음		분석 불가
루마니아	I(1)시계열	알 수 없음		분석 불가
스웨덴	I(1)시계열	알 수 없음		분석 불가
일본	I(1)시계열	I(0)시계열		분석 불가

## 제 2 절 석탄화력발전의 비중과 인과관계

본 절에서는 각 국가의 전력생산에서 석탄화력발전이 차지하는 비중을 토대로 석탄소비량과 경제성장의 인과관계를 비교하였다. 석탄의 주요 사용용도는 크게 두 가지로 나누어 볼 수 있다. 첫 번째는 철강 생산에서 철광석과 함께 원료로 소비되는 원료용 석탄(원료탄)이다. 원료용 석탄은 철강 제조 시 철광석과 교대로 적재하여 충분한 열을 내기위한 용도로 사용되는 석탄을 말한다. 석탄의 두 번째 주요 용도는 본 절에서 살펴볼 발전용 연료탄이다. 석탄화력발전에서 발전 터빈을 돌릴 증기를 생산하는데, 이 증기를 발생시키는 에너지원으로 사용되는 연료용 석탄이 그것이다. 본 절의 비교에서는 연료탄만을 비교 기준으로 설정하였는데, 이는 원료탄이 사용되는 철강 산업의 최종산물인 철보다 연료탄이 사용되는 발전 산업의 최종산물인 전력이 경제성장에 미치는 영향이 더 클 것이라 판단하였기 때문이다. 이러한 판단을 바탕으로 국가의 발전에서 석탄화력발전이 차지하는 비중이 지속적으로 증가하는 국가는 석탄소비량과 경제발전이 서로 영향을 줄 것이라는 가설을 세웠다.

국가별 비교를 위해 EIA에서 제공하는 국가별 발전량과 석탄화력발전량 자료를 이용하였다. 하지만, 연도별 발전량 자료 획득이 제한되어 6개년(1990년, 1995년, 2000년, 2005년, 2010년, 2012년)의 자료를 이용하였다. 또, 분석 대상국가 중 알제리, 말라위, 네팔을 해당 기간의 자료를 구하지 못해 비교 대상에서 제외하였으며, 석탄화력 발전을 하지 않는 아이슬란드, 스위스, 싱가포르 역시 비교 대상에서 제외하였다. 국가별 비교를 위해 평균변화율과 변동률을 계산하였고, 그 계산 식은 다음 (식 9), (식 10)과 같다. 평균변화율의 계산결과가 양수인 국가는 석탄화력발전의 비중이 증가하는 추세에 있는 국가이고, 음수인 국가는 석탄화력발전

의 비중이 감소하는 추세에 있는 국가라고 볼 수 있다.

$$\text{평균변화율} = Avg \left\{ \ln \left( \frac{G_t}{G_{t-1}} \right) \right\} \dots\dots\dots (\text{식 } 9)$$

$$\text{변동률} = STDEV \left\{ \ln \left( \frac{G_t}{G_{t-1}} \right) \right\} \dots\dots\dots (\text{식 } 10)$$

$G_t$  : 해당 년도의 석탄화력발전 비중

$G_{t-1}$  : 이전 년도의 석탄화력발전 비중

석탄화력발전 비중의 평균변화율과 변동률을 기준으로 총 4개의 그룹을 설정할 수 있다. 평균변화율이 음수이고 변동률이 큰 국가, 평균변화율이 음수이고 변동률이 작은 국가, 평균변화율이 양수이고 변동률이 큰 국가, 평균변화율이 양수이고 변동률이 작은 국가로 나누어 국가들을 묶어본 결과 특정 그룹에서 일정한 인과관계 분석결과가 일정한 패턴을 보이는 것을 알 수 있었다. 자세한 결과는 다음 [표 4-3]과 같다.

[ 표 4-3 ] 석탄화력발전 비중의 평균변화율·변동률과 인과관계

국 가	평균변화율	변동률	인과관계
폴란드	-0.02834	0.01674	Economic growth $\Leftrightarrow$ Coal consumption
남아공	-0.00906	0.02448	Economic growth $\Leftrightarrow$ Coal consumption
호주	-0.02733	0.05594	Coal consumption $\rightarrow$ Economic growth
미국	-0.06471	0.07475	Coal consumption $\rightarrow$ Economic growth
터키	-0.04721	0.08725	Economic growth $\rightarrow$ Coal consumption
헝가리	-0.09905	0.14952	no causality
덴마크	-0.19394	0.18883	no causality
캐나다	-0.10334	0.18991	no causality
영국	-0.09709	0.29405	no causality
홍콩	-0.08355	0.29603	Economic growth $\rightarrow$ Coal consumption
오스트리아	-0.14144	0.31457	no causality
스웨덴	-0.18677	0.78951	no causality
파키스탄	-0.22958	1.03288	Coal consumption $\rightarrow$ Economic growth

국 가	평균변화율	변동률	인과관계
인도네시아	0.12533	0.09829	Coal consumption → Economic growth
일본	0.18966	0.14563	no causality
루마니아	0.04326	0.14856	no causality
이스라엘	0.04255	0.17181	Coal consumption → Economic growth
멕시코	0.10854	0.23379	Coal consumption → Economic growth
브라질	0.00718	0.27621	Economic growth ⇔ Coal consumption
대한민국	0.26193	0.28770	Economic growth → Coal consumption
이탈리아	0.02083	0.30921	no causality
타이완	0.25658	0.34676	no causality
말레이시아	0.29611	0.37990	no causality
태국	0.14263	0.48434	Economic growth → Coal consumption
뉴질랜드	0.27694	1.06729	Economic growth → Coal consumption



석탄화력발전의 비중이 감소하면서 그 변동률이 작은 국가는 총 5개 국가이다. 5개 국가 중 터키를 제외한 4개의 국가에서 석탄소비량의 증가가 경제성장을 야기하는 방향의 인과관계가 존재하는 것으로 나타났다. 이 그룹에 속하는 국가들의 특징은 전원구성에서 석탄화력발전이 차지하는 비중이 큰 국가라는 것이다. 반면, 예외국가인 터키는 그 비중이 30% 전후로 다른 국가들에 비해 낮은 비중을 보였다.

석탄화력발전의 비중이 감소하면서 그 변동률이 큰 국가는 총 8개 국가이다. 8개 국가 중 홍콩과 파키스탄을 제외한 6개 국가에서는 모두 두 변수사이에 특별한 인과관계가 없는 것으로 나타났다. 이 6개 국가들은 모두 앞 절에서 살펴본 온실가스 의무감축 대상국가라는 것이 특징이다. 즉, 의무감축 대상국가들은 다른 국가들보다 더 급격한 속도로 석탄화력발전의 비중을 줄였다는 것을 알 수 있다.

석탄화력발전의 비중이 증가하면서 그 변동률이 작은 국가는 6개이다. 6개 국가 중 일본과 루마니아를 제외한 4개 국가에서는 석탄소비량의 증가가 경제성장을 야기하는 방향의 인과관계가 있는 것을 알 수 있다. 또, 브라질은 역방향의 인과관계도 존재하는 양방향 인과관계가 있는 것을 알 수 있다. 예외국가인 일본과 루마니아는 2002년 교토 의정서에서 온실가스 의무감축 대상국으로 선정된 국가라는 것이 특징이다. 이 두 국가는 두 변수사이에 인과관계가 존재하지 않는다는 결과가 나타났다.

마지막 그룹은 석탄화력발전 비중이 증가하면서 그 변동률이 큰 그룹이다. 이 그룹에 속하는 국가는 총 6개 국가이다. 6개 국가 중 대한민국, 태국, 뉴질랜드는 경제성장이 석탄소비를 증가시키는 방향으로 단방향 인과관계가 존재하는 반면, 나머지 3개 국가는 두 변수 사이에 인과관계가 없다. 즉, 이 그룹은 인과관계의 특별한 경향을 찾을 수 없다. 이상에

서 각 국가의 석탄화력발전 비중의 변화패턴이 석탄소비량과 경제성장의 인과관계에 영향을 주는 것을 확인하였다. 위의 구분을 다시 한 번 정리하면 아래 [표 4-4]와 같이 정리할 수 있다.

[ 표 4-4 ] 석탄화력발전 비중을 기준으로 한 국제비교 결과

		석탄발전 비중 변동률	
		Small	Large
석탄발전 비중	감 소	<b>Coal → GDP</b> (폴란드, 남아공, 호주, 미국) (예외 : 터키)	<b>no causality</b> (헝가리, 덴마크, 캐나다, 영국, 오스트리아, 스웨덴) (예외 : 홍콩, 파키스탄)
	증 가	<b>Coal → GDP</b> (인도네시아, 이스라엘, 멕시코, 브라질) (예외 : 일본, 루마니아)	<b>알 수 없음</b> (한국, 태국, 뉴질랜드, 말레이시아, 타이완, 이탈리아)

석탄화력발전 비중의 변화와 두 변수 간의 인과관계 비교는 두 가지 방향으로 해석이 가능하다. 첫째로는 석탄화력발전 비중의 변화 때문에 두 변수간 인과관계가 [표 4-4]와 같이 발생하였다는 해석이 가능하다. 반대로, 두 변수간의 인과관계가 위와 같이 존재하기 때문에 석탄화력발전 비중의 변화가 [표 4-4]와 같이 나타났다는 해석역시 가능하다. 하지만, 발전소 건설은 계획부터 폐쇄까지 30년이 넘는 시간이 걸리는 사업이라는 점에서 석탄소비와 경제성장의 인과관계를 고려하여 결정하기에는 무리가 있다.

따라서 본 논문은 두 변수간의 인과관계가 석탄화력발전 비중의 변화를 결정했을 가능성이 적다고 판단했다. 즉, 석탄화력발전 비중의 변화가 두 변수 간의 인과관계에 영향을 준 것이라고 해석하는 것이 더 타당하다고 생각하고 본 절의 국제비교 결과를 해석하였다. 또한 석탄의 사용량과 관계된 보다 명확한 설명을 하기 위해서는 석탄의 대체재로 활용이 가능한 석유와 가스에 대한 소비를 함께 고려할 필요가 있지만, 이는 본 논문의 범위를 넘어서는 부분으로 본 논문에서는 다루지 않기로 한다.

먼저, 국가들을 [표 4-4]에 따라 크게 네 가지 그룹으로 나눌 수 있는데, 이들 중 첫 번째 그룹은 석탄화력발전의 비중이 서서히 감소하는 그룹이다. 이 그룹은 석탄소비량의 증가가 경제성장을 야기하는 방향의 인과관계를 갖는다. 이 그룹에 속하는 국가들은 석탄화력발전의 비중이 크다는 공통점을 갖는다. 이에 전원믹스를 다양화시키고, 탄소배출을 줄이기 위해 석탄화력발전의 비중을 조금씩 줄여나가고 있는 것이라 생각된다. 하지만, 그 비중이 크고 감소폭이 작기 때문에 여전히 석탄의존도가 높다. 이러한 이유로 석탄소비가 경제성장을 인과하는 방향의 인과관계가 나타났다고 생각한다.

두 번째 그룹은 석탄화력발전의 비중이 급격히 감소하는 그룹이다. 이 그룹은 석탄소비량과 경제성장 간에 인과관계가 없다는 경향을 나타냈다. 이 그룹에 속하는 국가들의 가장 큰 특징은 대부분 2002년 교토의정서 당시 온실가스 의무감축 대상국에 속한다는 것이다. 해당 국가들은 석탄의존도를 줄이기 위해 석탄화력발전의 비중을 급격히 감소시켰고, 이러한 이유에 의해 석탄소비와 경제성장 간에 인과관계가 없게 나타났다고 판단된다.

세 번째 그룹은 석탄화력발전의 비중이 서서히 증가하는 그룹이다. 이 그룹은 첫 번째 그룹과 마찬가지로 석탄소비량의 증가가 경제성장을 야

기하는 방향의 인과관계를 가지고 있다. 해당 국가들에서는 지속적으로 석탄화력발전의 비중이 증가하고 있기에 석탄소비의 증가가 경제성장을 인과하는 방향의 인과관계가 나타났다고 해석 가능하다. 이들 국가의 공통점은 국가 내에서 석유나 가스를 생산하는 산유국이라는 점이다. 즉, 석탄 이외의 에너지원에 대한 접근이 용이한 국가들이기 때문에 석탄화력발전의 비중을 급격히 증가시키지 않았다고 판단할 수 있다.

마지막 그룹은 두 가지 인과관계가 두 가지 인과관계가 혼재되어 나타났다. 한국, 태국, 뉴질랜드는 경제성장이 석탄소비를 야기하는 방향의 인과관계가 있었다. 하지만, 말레이시아, 타이완, 이탈리아는 석탄소비와 경제성장이 상호간에 별다른 영향을 주지 않는 국가들이다. 이 그룹은 두 가지 인과관계가 혼재되어 있기 때문에 본 논문의 분석결과들로는 이에 대한 명확한 설명이 불가능하다.

## 제 5 장 결과 요약 및 한계점

### 제 1 절 결과 요약

본 논문에서는 국가별 석탄소비량과 경제성장 변수간의 공적분 관계 및 인과관계를 검정하고, 국가별로 상이한 인과관계를 유의미하게 분류할 수 있는 분류 기준을 제시하고자 하였다. 이를 위하여 자료 확보가 가능한 31개 국가를 대상으로 각 국가의 석탄소비량과 경제성장 간의 인과관계를 분석하고, 그 결과를 비교하였다. 분석 기간은 1980년부터 2012년까지 이고, 공적분 검정 및 인과관계 검정을 실시하였다. 공적분 검정 결과 31개 분석대상국 중 11개 국가가 두 변수 사이에 공적분 관계가 있는 것으로 나타났다. 이 공적분 분석 결과를 바탕으로 인과관계 검정에서 사용할 모형을 결정하였다. 공적분 관계가 있는 것으로 나타난 11개 국가는 VECM을 이용한 Granger 인과관계 검정을 실시하였고, 그렇지 않은 20개 국가는 VAR모형을 이용한 Granger 인과관계 검정을 실시하였다.

인과관계 분석 결과는 다음과 같다. 첫째, 경제성장이 석탄소비의 증가를 야기하는 단방향 인과관계가 있는 국가는 총 6개 국가이다. 둘째, 석탄소비량의 증가가 경제성장을 야기하는 단방향 인과관계가 있는 국가는 총 8개 국가이다. 셋째, 두 변수가 상호 영향을 주는 양방향 인과관계가 존재하는 국가는 총 3개 국가이다. 마지막으로 두 변수 사이에 인과관계가 없는 국가는 14개 국가이다.

4장에서는 인과관계 분석 결과를 바탕으로 두 가지 국제비교를 실시하였다. 첫 번째 국제비교는 환경규제의 유무와 인과관계 유무를 비교하였다. 비교 결과 환경규제가 있는 12개 국가 중 미국과 폴란드를 제외한

10개 국가에서 석탄소비량과 경제성장 사이에 아무런 인과관계가 없는 것을 알 수 있었다. 반대로 환경규제가 없는 19개 국가 중 15개 국가에서는 두 변수 간에 인과관계가 있는 것을 확인할 수 있었다. 즉, 환경규제의 유무가 인과관계 유무에 영향을 준다는 결론을 내렸다.

두 번째로 실시한 국제비교에서는 석탄화력발전의 비중을 비교기준으로 삼았다. 즉, 각 국가별 발전부문에서 석탄화력발전이 차지하는 비중을 토대로 평균변화율과 변동률을 계산하고, 이를 기준으로 총 4개의 그룹을 설정하였다. 첫째 그룹은 평균변화율이 음수이고 변동률이 작은 그룹으로 5개 국가 중 4개 국가에서 석탄소비량의 증가가 경제성장으로 이어지는 인과관계가 있는 것을 알 수 있었다. 두 번째로 평균변화율이 음수이지만 그 변동률이 큰 그룹에서는 8개 국가 중 6개 국가에서 두 변수 사이에 인과관계가 없었다. 세 번째 그룹은 평균변화율이 양수이고 변동률이 작은 그룹으로 석탄소비량의 증가가 경제성장을 야기하는 경향이 있었다. 마지막으로 평균변화율이 양수이며 그 변동률이 큰 그룹은 두 가지 인과관계가 혼재되어 나타나 특별한 경향성을 찾지 못했다.

본 논문이 갖는 시사점을 정리하면 다음과 같다. 첫째, 관련 연구 중 가장 많은 국가를 대상으로 분석을 실시하였다. 둘째, 환경규제가 두 변수 사이의 인과관계에 영향을 주며 석탄과 경제성장의 관계를 연구할 때 환경규제의 유무를 반드시 고려해야 한다는 당위성을 확인하였다. 마지막으로 석탄화력발전 비중의 변화와 인과관계 분석 결과 비교를 통해 단순히 석탄화력발전 비중의 크기가 아닌 변동성을 고려하는 방안을 제시하였다.

## 제 2 절 연구의 한계점

본 연구가 지닌 한계점은 크게 두 가지로 볼 수 있다. 첫째, 석탄의 대체재 역할이 가능한 석유와 가스의 정보를 포함하지 못했다. 석탄의 수요는 대체재인 석유와 가스의 가격과 수급용이성에 영향을 받는다. 즉, 석유나 가스의 가격이 올라가면 석탄에 대한 수요가 증가하고, 석유나 가스의 수급이 불안정한 상황이 되었을 때도 석탄에 대한 수요가 증가할 수 있다. 본 논문에서는 자료 확보의 한계로 석유와 가스의 정보를 포함하지 못하였다.

두 번째 한계점은 분석모형의 특성상 분석에서 제외된 국가들이 존재한다는 점이다. 본 논문에서는 인과관계 분석시 Granger인과관계 분석을 이용하였는데, 이모형에서는 두 변수가 모두  $I(1)$ 인 시계열만 분석이 가능했다. 따라서 자료가 존재한 56개 국가 중에서  $I(1)$ 과  $I(0)$ 시계열이 혼재한 25개 국가는 본 논문의 분석대상에서 제외되었다.

추후 연구에서는 본 논문의 한계점을 보완하여 석탄과 경제성장에 영향을 줄 수 있는 다양한 변수들을 고려하고, 분석대상 국가를 확대할 수 있기를 기대한다.

## 참 고 문 헌

- [1] 권혁수, 홍승혜. (2014), 아시아 주요 석탄수입국의 석탄 확보 전략과 우리의 대응방안, 에너지경제연구원
- [2] 김기열. (2015), 구조변화를 고려한 석탄사용량과 한국경제성장 사이의 인과관계 분석, 2015 한국자원공학회 제 104회 춘계학술발표대회.
- [3] 김기열. (2015), 석탄사용량과 경제성장 사이의 상관관계 국제비교, 2015 추계자원공학연합학술대회.
- [4] 김민지. (2012), 구조변화를 고려한 원유시장의 효율성 분석, 서울대학교 대학원.
- [5] 김수현. (2014), 에너지·자원의 편익수익에 관한 연구, 서울대학교 대학원.
- [6] 김지호, 허은녕. (2014), ICT 자본 투입이 노동 및 에너지 수요에 미치는 영향: 한국, 미국, 영국의 제조업 및 전기, 가스, 수도사업의 생산구조 비교, 자원·환경경제연구. Vol. 23, No. 1, pp. 91 ~ 132.
- [7] 김진수. (2010), 국제원유가격과 금속자원가격 변동의 인과관계 분석, 한국지구시스템공학회지. Vol. 47, No. 4, pp. 423 ~ 432.
- [8] 김진수, 허은녕, 김연배. (2007), 공적분과 인과관계 분석을 통한 국제 원유시장의 지역화 연구, 자원·환경경제연구. Vol. 16, No. 2, pp. 213 ~ 237.
- [9] 김진수, 김연배, 허은녕. (2006), 중국의 석유수입과 국제원유가격 변동의 인과관계 분석, 한국지구시스템공학회지. Vol. 43, No. 6, pp. 551 ~ 559.



- [10] 신영은. (2013), 가격과 거래량을 고려한 국제 원유시장의 동조화 연구, 서울대학교 대학원.
- [11] 에너지경제연구원. (2014), 2014 에너지 통계, 에너지경제연구원.
- [12] 에너지기술연구원 웹사이트, <http://www.kier.re.kr>
- [13] 유창석. (2001), Dynamic ECM 모형을 이용한 국내 유연탄 수요 모형 연구, 서울대학교 대학원.
- [14] 이슬기. (2010), 가격비대칭성 검정 모형 체계화 연구, 서울대학교 대학원.
- [15] 임재규, 김종익. (2014), 제조업 생산활동과 전력소비 간의 인과관계 분석, 자원환경경제연구. Vol. 23, No. 2, pp. 349 ~ 364.
- [16] 허은녕. (2011), 국내외 에너지환경 변화와 우리나라 에너지 믹스 전략 수립과정에서의 시사점, 에너지경제연구. Vol. 10, No. 2, pp. 187 ~ 205.
- [17] 허은녕, 김지효. (2008), 국제 유가 변동이 국내 에너지 기업의 주가에 미치는 영향 연구, 한국 신·재생에너지학회. pp. 120 ~ 123.
- [18] 현병구. 『에너지와 그 자원』. 서울대학교 출판부, 1994.
- [19] Apergis, N. and Payne, J.E. (2010), “Coal consumption and economic growth: Evidence from a panel of OECD countries”. *Energy Policy*, Vol. 38, pp. 1353 ~ 1359.
- [20] Apergis, N. and Payne, J.E. (2010), “The causal dynamics between coal consumption and growth: Evidence from emerging market economies”. *Applied Energy*, Vol. 87, pp. 1972 ~ 1977.

- [21] Bloch, H., Rafiq, S. and Salim, R. (2012), “Coal consumption, CO<sub>2</sub> emission and economic growth in China: Empirical evidence and policy responses”. *Energy Economics*, Vol. 34, pp. 518 ~ 528.
- [22] BP, 2014, BP Statistical Review of World Energy 2014
- [23] BP, 2015, BP Statistical Review of World Energy 2015
- [24] Dickey, D.A. and Fuller W.A. (1979), “Distribution of the Estimators for Autoregressive Time Series With a Unit Root”. *Journal of American Statistical Association*, Vol. 74, pp. 427 ~ 431.
- [25] Engle, R.F. and Granger, C.W.J. (1987), “Co-Integration And Error Correction: Representation, Estimation, And Testing”. *Econometrica*, Vol. 55, No. 2, pp. 251 ~ 276.
- [26] Granger, C.W.J. (1969), “Investigating Causal Relations By Econometric Models And Crosss-Spectral Methods”. *Econometrica*, Vol. 37, No. 3, pp. 424 ~ 438.
- [27] Jinke, L., Hualing, S. and Dianming, G. (2008), “Causality relationship between coal consumption and GDP: Difference of major OECD and non-OECD countries”. *Applied Energy*, Vol. 85, pp. 421 ~ 429.
- [28] Jinke, L., Feng-hua, W. and Hua-ling, S. (2009), “Differences in coal consumption patterns and economic growth between developed and developing countries”. *Procedia Earth and Planetary Science*, Vol. 1, pp. 1744 ~ 1750.

- [29] Johansen, S. (1988), "Statistical Analysis Of Cointegration Vectors". *Journal Of Economic Dynamics And Control*, Vol. 12, pp. 231 ~ 254.
- [30] Kim, J. (2010), "The Relationship between Energy Consumption and Economic Growth: Theoretical and Empirical Issues". The Graduate School of Seoul National University.
- [31] Nasiru, I. (2011), "Coal Consumption and Economic Growth in Nigeria: A Two-step Residual-based Test Approach to Cointegration". *European Scientific Journal*, Vol. 8, No. 9, pp. 140 ~ 155.
- [32] Ocal, O., Oztruk, I. and Aslan, A. (2013), "Coal Consumption and Economic Growth in Turkey". *International Journal of Energy Economics and Policy*, Vol. 3, No. 2, pp. 193 ~ 198.
- [33] Phillips, P.C.B. and Perron, P. (1988), "Testing For A Unit Root In Time Series". *Biometrika*, Vol. 75, No.2, pp. 335 ~ 346.
- [34] Schwer, G.W. (1989), "Tests for Unit Roots: A Monte Carlo Investigation". *Journal of Business & Economic Statistics*, Vol. 7, No. 2, pp. 5 ~ 17.
- [35] Wolde-Ruael, Y. (2010), "Coal consumption and economic growth revisited". *Applied Energy*, Vol 87, pp. 160 ~ 167.
- [36] Yang, H.Y. (2000), "Coal consumption and Economic Growth in Taiwan". *Energy Sources*, Vol. 22, pp. 109 ~ 115.
- [37] Yoo, S.H. (2006), "Causal relationship between coal consumption and economic growth in Korea". *Applied Energy*, Vol. 83, pp. 1181 ~ 1189.

# Appendix

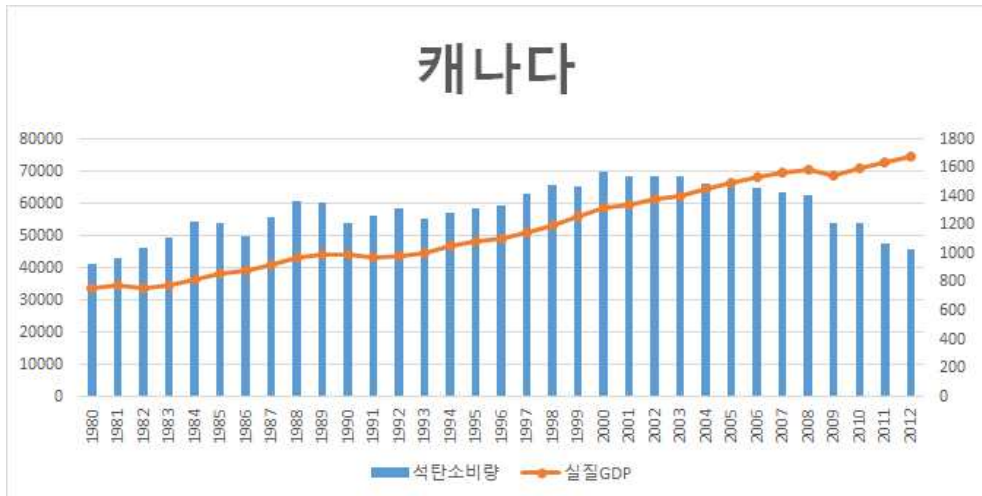
가. 각 국가별 자료, 시차 결정 및 인과관계 검정 결과 ..... 85

나. 분석 대상국에서 제외된 25개 국가의 단위근 검정 결과... 117

## 가. 각 국가별 자료, 시차 결정 및 인과관계 검정 결과

### 1) 캐나다

#### ○ 자료



#### ○ 시차 결정 (AIC)

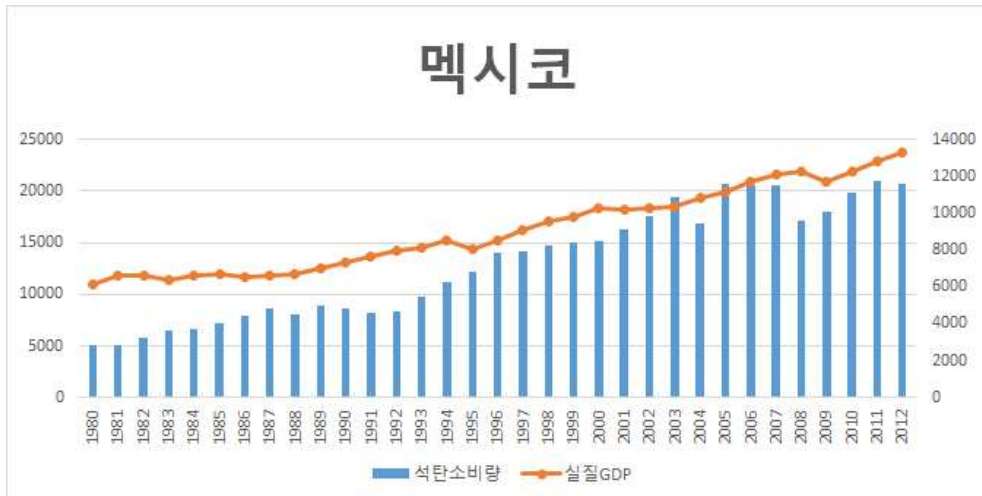
시차	수준 변수	1차차분 변수
1	28.0527*	28.3834*
2	28.1730	28.6220
3	28.0917	28.7386
4	28.1587	28.7817

#### ○ 인과관계 검정 결과 (no causality)

국 가	lag	인과관계	$\chi^2$ 통계량	p-value
캐나다	1	GDP → Coal	0.3840	0.535
		Coal → GDP	0.4589	0.498

## 2) 멕시코

### ○ 자료



### ○ 시차 결정 (AIC)

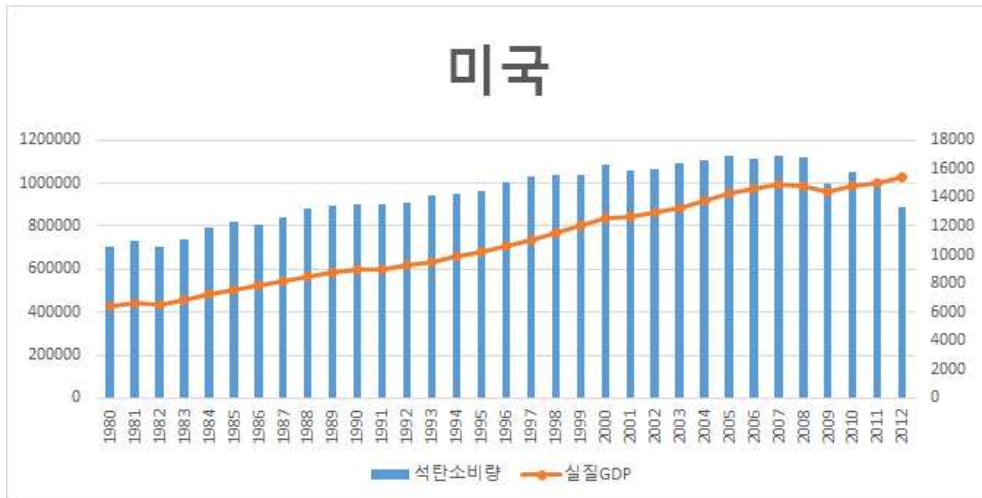
시차	수준변수	1차차분 변수
1	31.3810*	31.5299*
2	31.5464	31.7797
3	31.7479	31.8967
4	31.8974	32.1300

### ○ 인과관계 검정 결과 (Coal consumption → Economic growth)

국 가	lag	인과관계	$\chi^2$ 통계량	p-value
멕시코	1	GDP → Coal	0.9476	0.330
		Coal → GDP	4.3557**	0.037

### 3) 미국

#### ○ 자료



#### ○ 시차 결정 (AIC)

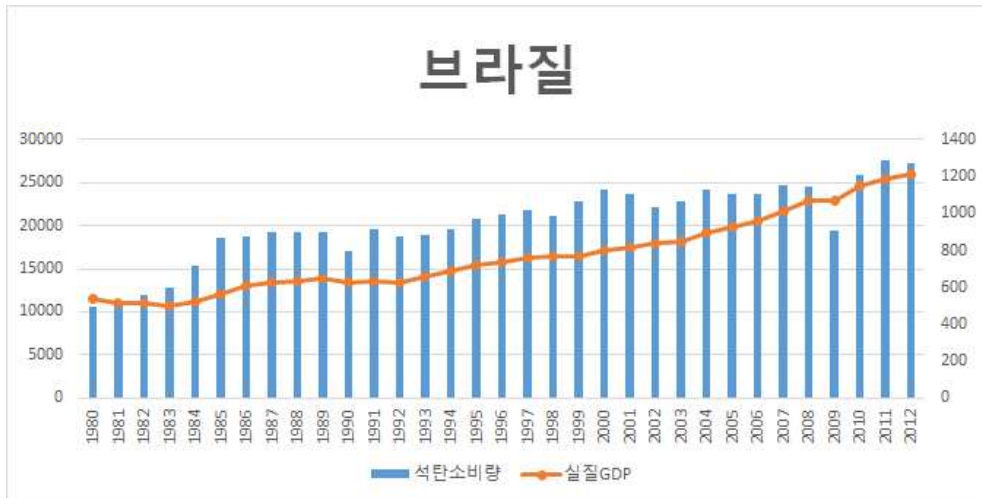
시차	수준변수	1차차분 변수
1	37.1205	37.1415
2	36.9243	37.3386
3	36.5477	36.7937*
4	36.5100*	36.8364

#### ○ 인과관계 검정 결과 (Coal consumption → Economic growth)

국 가	lag	인과관계	$\chi^2$ 통계량	p-value
미국	3	GDP → Coal	5.6744	0.129
		<b>Coal → GDP</b>	<b>9.2207**</b>	<b>0.026</b>

#### 4) 브라질

##### ○ 자료



##### ○ 시차 결정 (AIC)

시차	수준변수	1차차분 변수
1	26.0643*	-
2	26.1723	
3	26.4059	
4	26.5376	

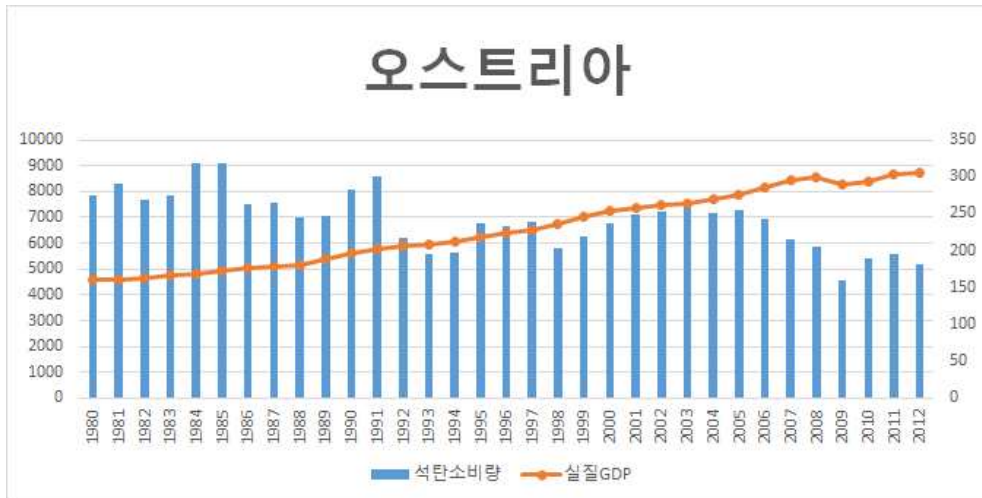
##### ○ 인과관계 검정 결과 (Coal consumption $\Leftrightarrow$ Economic growth)

국 가	lag	인과관계	$\chi^2$ 통계량	p-value
브라질	1	GDP $\rightarrow$ Coal Long-run	4.13**	0.0422
		Coal $\rightarrow$ GDP Long-run	4.17**	0.0411



## 5) 오스트리아

### ○ 자료



### ○ 시차 결정 (AIC)

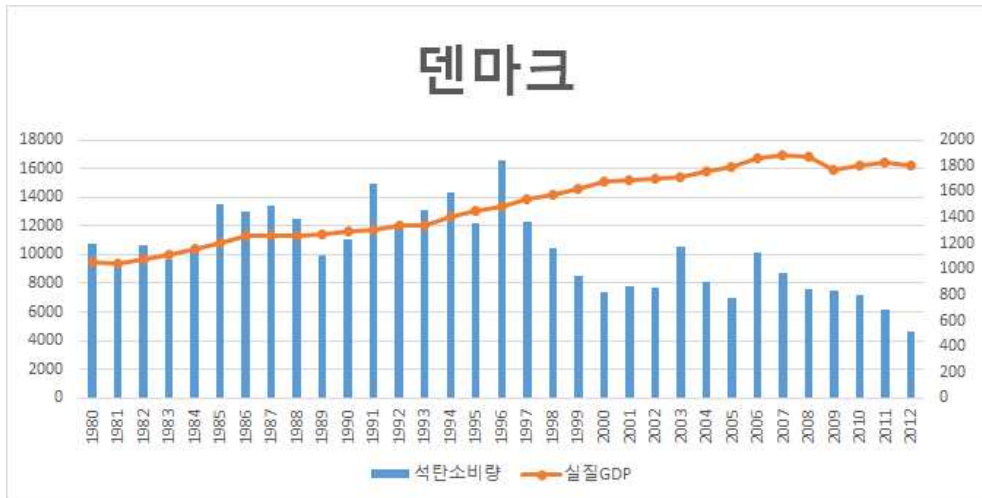
시차	수준변수	1차차분 변수
1	24.0562*	24.1258*
2	24.2003	24.3490
3	24.3780	24.3120
4	24.3667	24.3953

### ○ 인과관계 검정 결과 (no causality)

국 가	lag	인과관계	$\chi^2$ 통계량	p-value
오스트리아	1	GDP → Coal	0.2817	0.596
		Coal → GDP	0.3981	0.528

## 6) 덴마크

### ○ 자료



### ○ 시차 결정 (AIC)

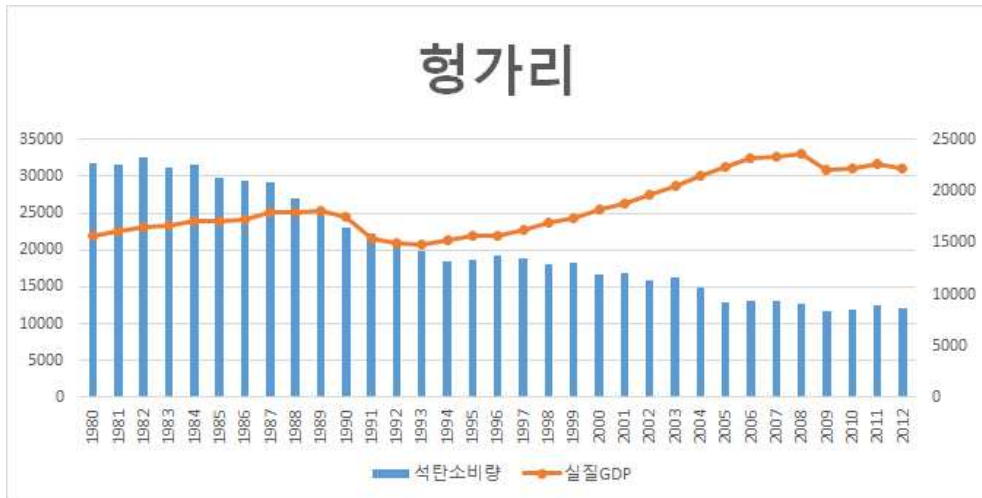
시차	수준변수	1차차분 변수
1	27.8035*	28.2049*
2	27.9909	28.3748
3	28.1457	28.5912
4	28.2536	28.3871

### ○ 인과관계 검정 결과 (no causality)

국 가	lag	인과관계	$\chi^2$ 통계량	p-value
덴마크	1	GDP → Coal	0.2555	0.613
		Coal → GDP	0.3675	0.544

## 7) 헝가리

### ○ 자료



### ○ 시차 결정 (AIC)

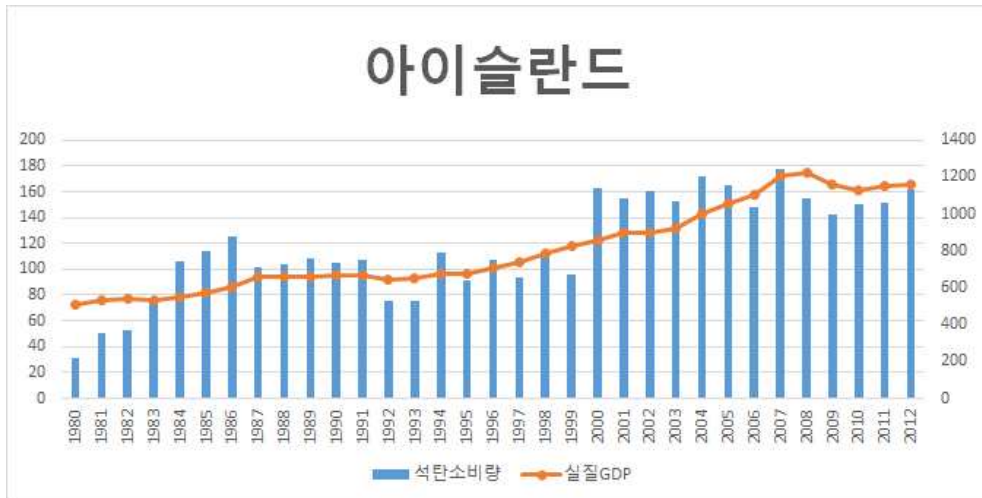
시차	수준변수	1차차분 변수
1	32.4623	32.7493*
2	32.4581*	32.7842
3	32.6647	33.0390
4	32.9099	33.2225

### ○ 인과관계 검정 결과 (no causality)

국 가	lag	인과관계	$\chi^2$ 통계량	p-value
헝가리	1	GDP → Coal	0.3807	0.537
		Coal → GDP	0.0085	0.927

## 8) 아이슬란드

### ○ 자료



### ○ 시차 결정 (AIC)

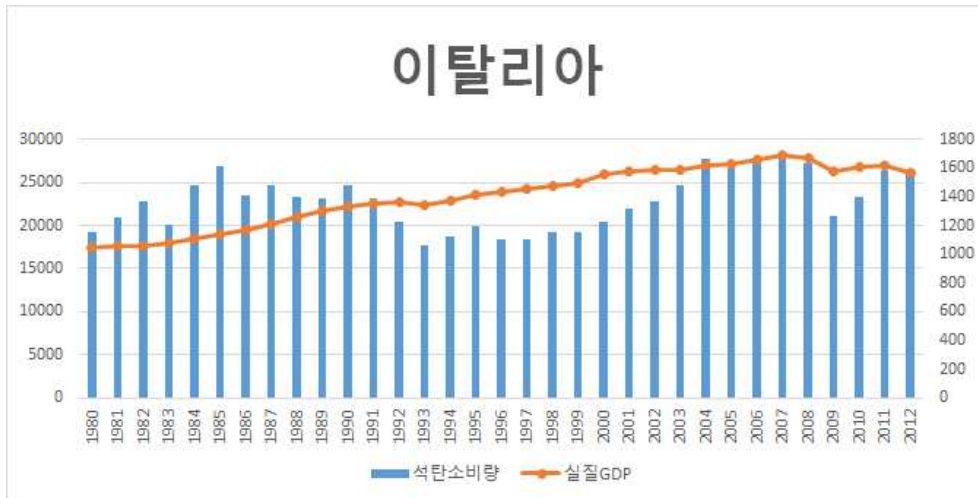
시차	수준변수	1차차분 변수
1	18.4218*	-
2	18.4851	
3	18.4595	
4	18.6380	

### ○ 인과관계 검정 결과 (Economic growth → Coal consumption)

국 가	lag	인과관계	$\chi^2$ 통계량	p-value
아이슬란드	1	GDP → Coal Long-run	9.51***	0.0020
		Coal → GDP Long-run	2.04	0.1531

## 9) 이탈리아

### ○ 자료



### ○ 시차 결정 (AIC)

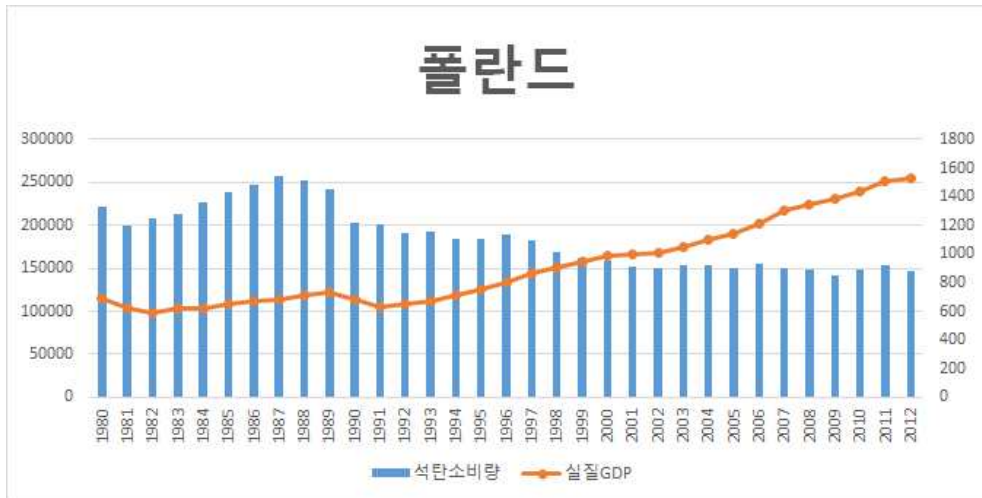
시차	수준변수	1차차분 변수
1	27.3682*	27.4537*
2	27.5181	27.5479
3	27.5999	27.6627
4	27.5323	27.8323

### ○ 인과관계 검정 결과 (no causality)

국 가	lag	인과관계	$\chi^2$ 통계량	p-value
이탈리아	1	GDP → Coal	0.0061	0.938
		Coal → GDP	2.6891	0.101

## 10) 폴란드

### ○ 자료



### ○ 시차 결정 (AIC)

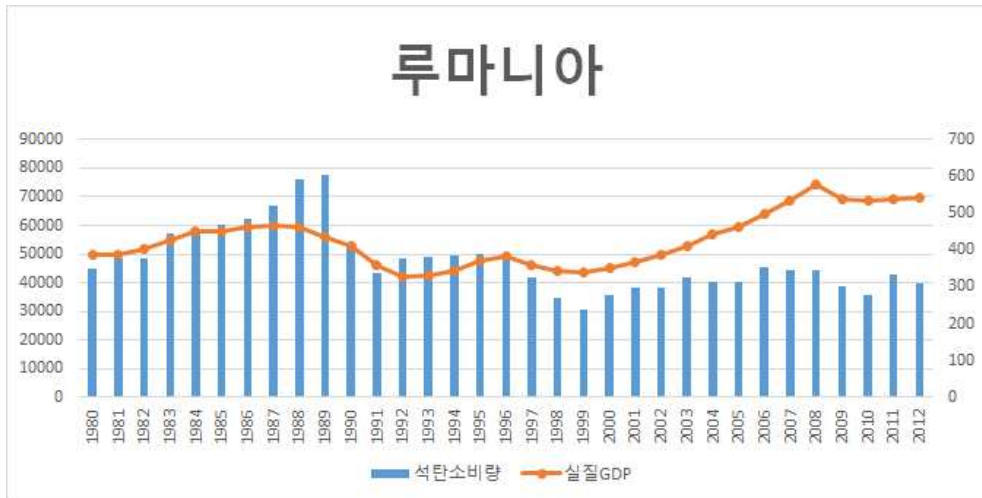
시차	수준변수	1차차분 변수
1	30.7726	
2	70.3106	
3	30.0429*	
4	30.1620	

### ○ 인과관계 검정 결과 (Coal consumption $\Leftrightarrow$ Economic growth)

국 가	lag	인과관계	$\chi^2$ 통계량	p-value
폴란드	3	GDP $\rightarrow$ Coal	Short-run	16.77***
			Long-run	17.28***
			Strong	20.89***
		Coal $\rightarrow$ GDP	Short-run	9.76***
			Long-run	7.65***
			Strong	16.77***

## 11) 루마니아

### ○ 자료



### ○ 시차 결정 (AIC)

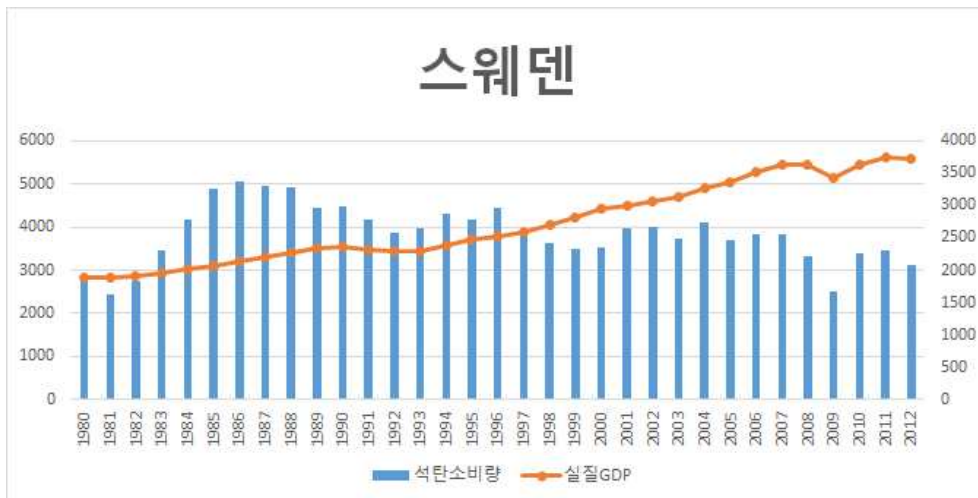
시차	수준변수	1차차분 변수
1	29.6123	29.3997
2	29.2002	29.3860*
3	29.1510*	29.5845
4	29.4108	29.8136

### ○ 인과관계 검정 결과 (no causality)

국 가	lag	인과관계	$\chi^2$ 통계량	p-value
루마니아	2	GDP → Coal	4.5902	0.101
		Coal → GDP	4.1641	0.125

## 12) 스웨덴

### ○ 자료



### ○ 시차 결정 (AIC)

시차	수준변수	1차차분 변수
1	26.1194*	26.2287*
2	26.2388	26.3771
3	26.3494	26.5699
4	26.6043	26.3760

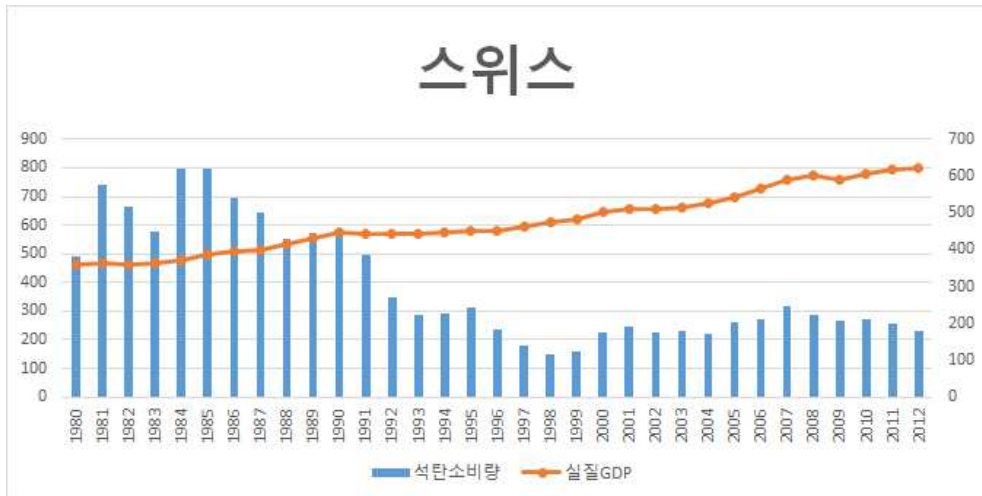
### ○ 인과관계 검정 결과 (no causality)

국 가	lag	인과관계	$\chi^2$ 통계량	p-value
스웨덴	1	GDP → Coal	1.4818	0.223
		Coal → GDP	0.5741	0.449



### 13) 스위스

#### ○ 자료



#### ○ 시차 결정 (AIC)

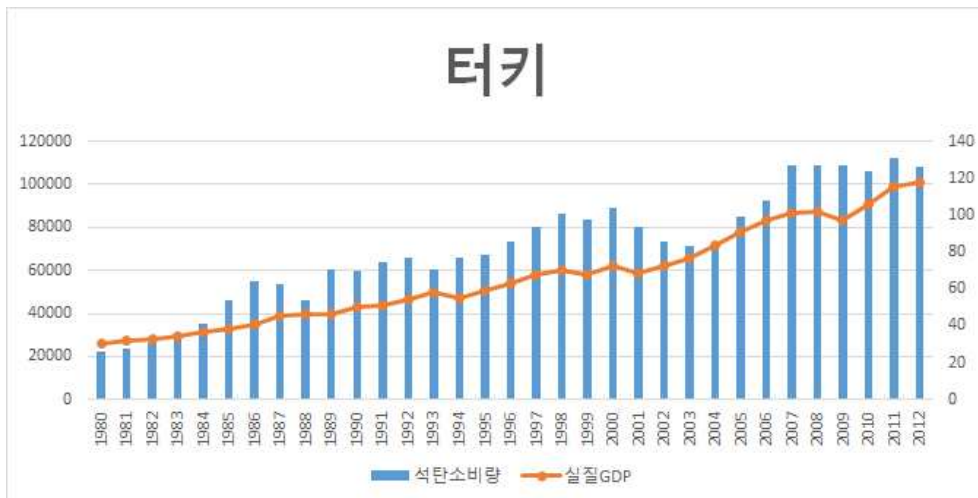
시차	수준변수	1차차분 변수
1	18.2718*	18.1532
2	18.4887	18.1415*
3	18.5417	18.3881
4	18.5257	18.6103

#### ○ 인과관계 검정 결과 (no causality)

국 가	lag	인과관계	$\chi^2$ 통계량	p-value
스위스	2	GDP → Coal	3.4855	0.175
		Coal → GDP	3.1963	0.202

## 14) 터키

### ○ 자료



### ○ 시차 결정 (AIC)

시차	수준변수	1차차분 변수
1	25.7373*	26.2795*
2	25.9448	26.4505
3	25.9253	26.5429
4	25.9547	26.6504

### ○ 인과관계 검정 결과 (Economic growth → Coal consumption)

국 가	lag	인과관계	$\chi^2$ 통계량	p-value
터키	1	GDP → Coal	4.9626**	0.026
		Coal → GDP	0.4966	0.481

## 15) 영국

### ○ 자료



### ○ 시차 결정 (AIC)

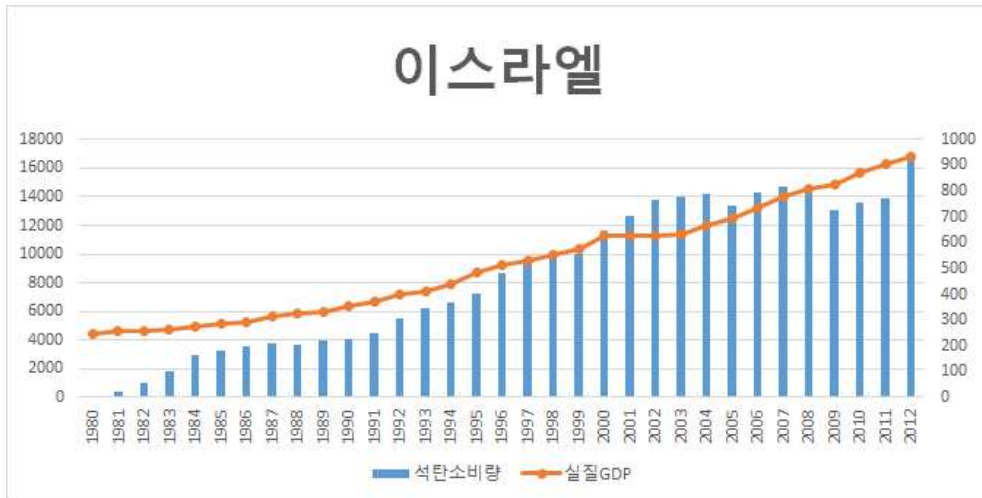
시차	수준변수	1차차분 변수
1	30.8660*	30.4935*
2	30.8970	30.7624
3	31.0806	30.7718
4	31.2966	30.8534

### ○ 인과관계 검정 결과 (no causality)

국 가	lag	인과관계	$\chi^2$ 통계량	p-value
영국	1	GDP → Coal	0.4494	0.503
		Coal → GDP	1.5072	0.220

## 16) 이스라엘

### ○ 자료



### ○ 시차 결정 (AIC)

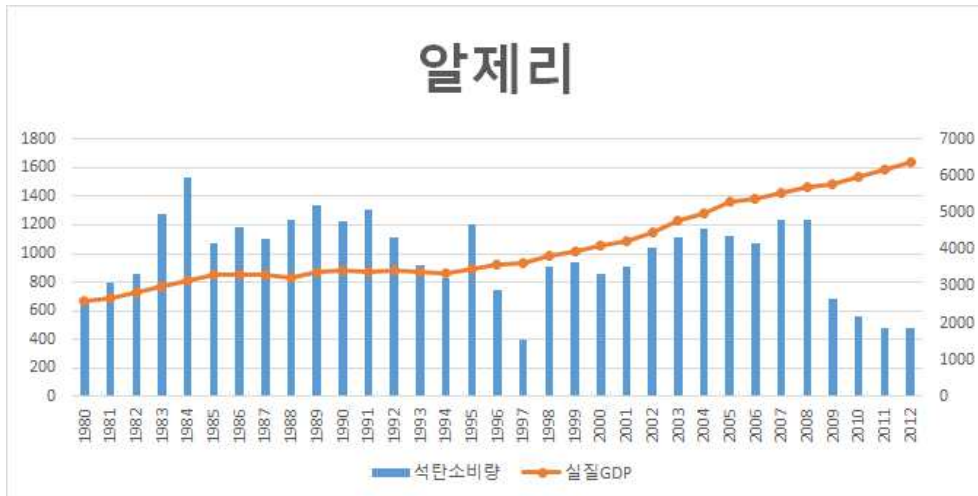
시차	수준변수	1차차분 변수
1	24.1890	24.0227*
2	24.0005*	24.1759
3	24.1305	24.2699
4	24.2748	24.4152

### ○ 인과관계 검정 결과 (Coal consumption → Economic growth)

국 가	lag	인과관계	$\chi^2$ 통계량	p-value
이스라엘	1	GDP → Coal	0.0366	0.848
		Coal → GDP	13.038***	0.000

## 17) 알제리

### ○ 자료



### ○ 시차 결정 (AIC)

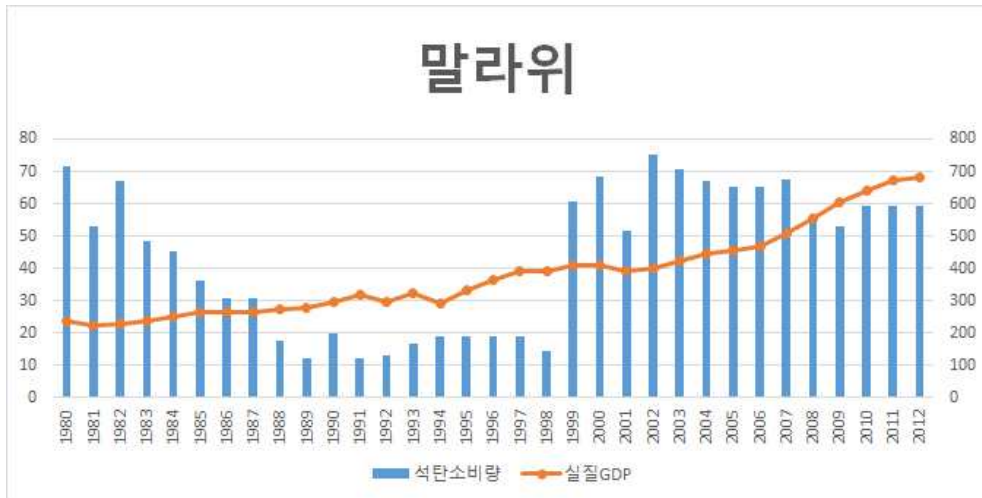
시차	수준변수	1차차분 변수
1	25.6235	25.7603
2	25.5546	25.7538*
3	25.5777	25.9942
4	25.4596*	26.0878

### ○ 인과관계 검정 결과 (no causality)

국 가	lag	인과관계	$\chi^2$ 통계량	p-value
알제리	2	GDP → Coal	0.1387	0.933
		Coal → GDP	3.4779	0.176

## 18) 말라위

### ○ 자료



### ○ 시차 결정 (AIC)

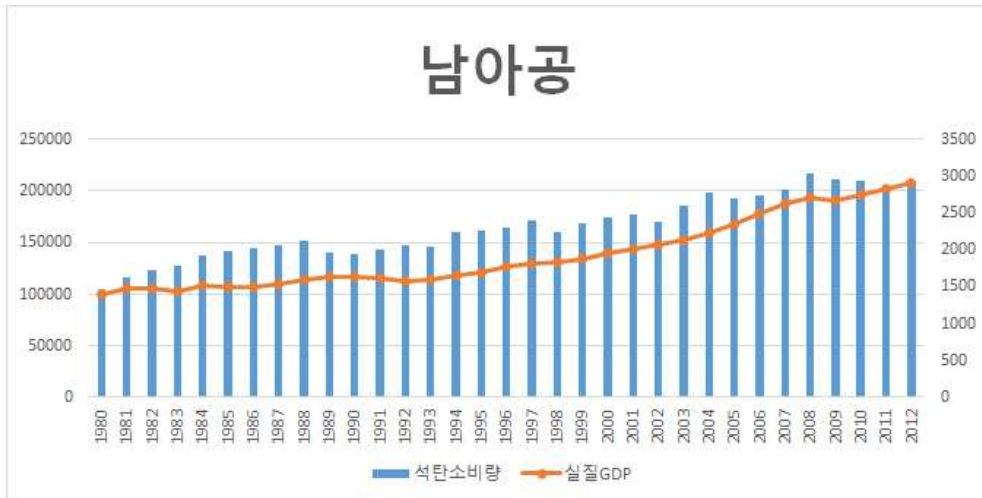
시차	수준변수	1차차분 변수
1	16.5780*	17.0092
2	16.6720	16.9649*
3	16.6816	16.9714
4	16.6557	17.0296

### ○ 인과관계 검정 결과 (no causality)

국 가	lag	인과관계	$\chi^2$ 통계량	p-value
말라위	2	GDP → Coal	1.7809	0.410
		Coal → GDP	2.6786	0.262

## 19) 남아공

### ○ 자료



### ○ 시차 결정 (AIC)

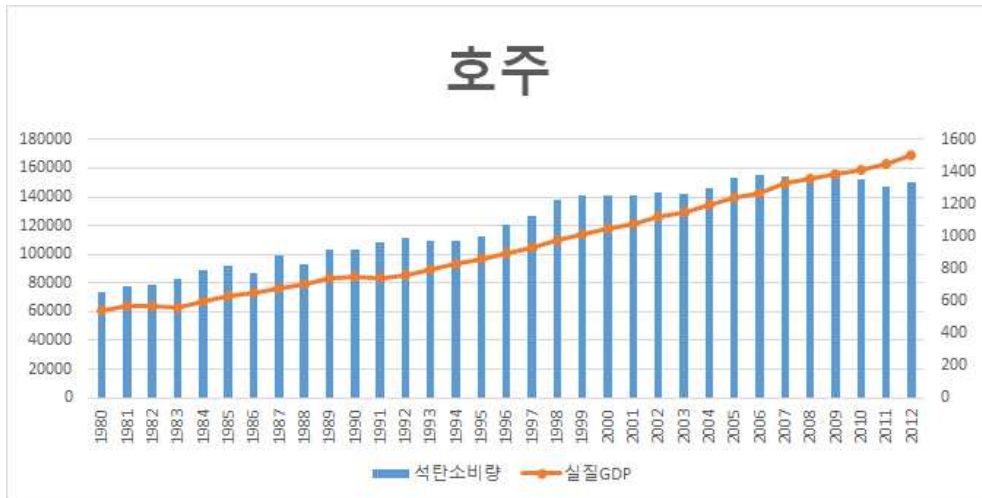
시차	수준변수	1차차분 변수
1	30.8368*	-
2	30.9239	
3	31.1296	
4	31.2461	

### ○ 인과관계 검정 결과 (Coal consumption $\Leftrightarrow$ Economic growth)

국 가	lag	인과관계		$\chi^2$ 통계량	p-value
남아공	1	GDP $\rightarrow$ Coal	Long-run	<b>4.72**</b>	<b>0.0297</b>
		Coal $\rightarrow$ GDP	Long-run	<b>7.24***</b>	<b>0.0071</b>

## 20) 호주

### ○ 자료



### ○ 시차 결정 (AIC)

시차	수준변수	1차차분 변수
1	27.6694*	
2	27.8232	
3	27.7563	
4	27.9882	

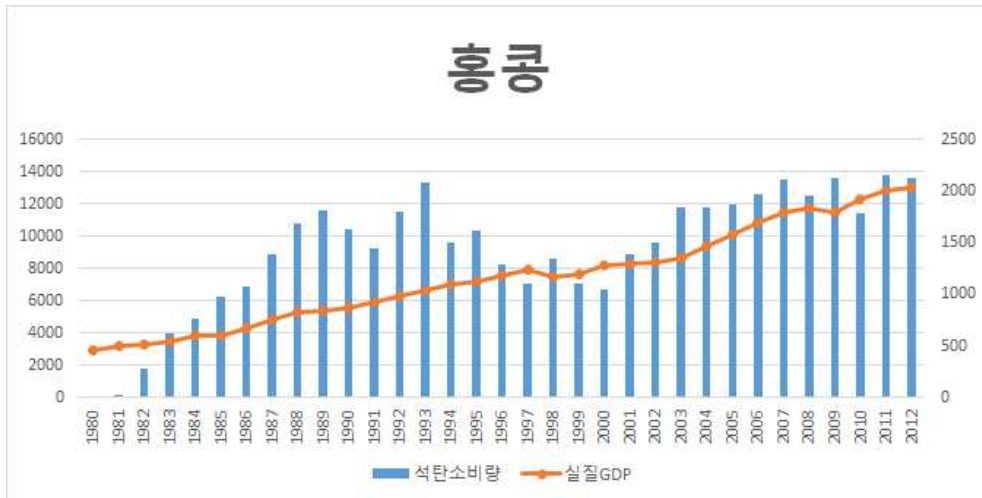
### ○ 인과관계 검정 결과 (Coal consumption → Economic growth)

국 가	lag	인과관계	$\chi^2$ 통계량	p-value
호주	1	GDP → Coal Long-run	2.33	0.1266
		Coal → GDP Long-run	<b>13.86***</b>	<b>0.0002</b>



## 21) 홍콩

### ○ 자료



### ○ 시차 결정 (AIC)

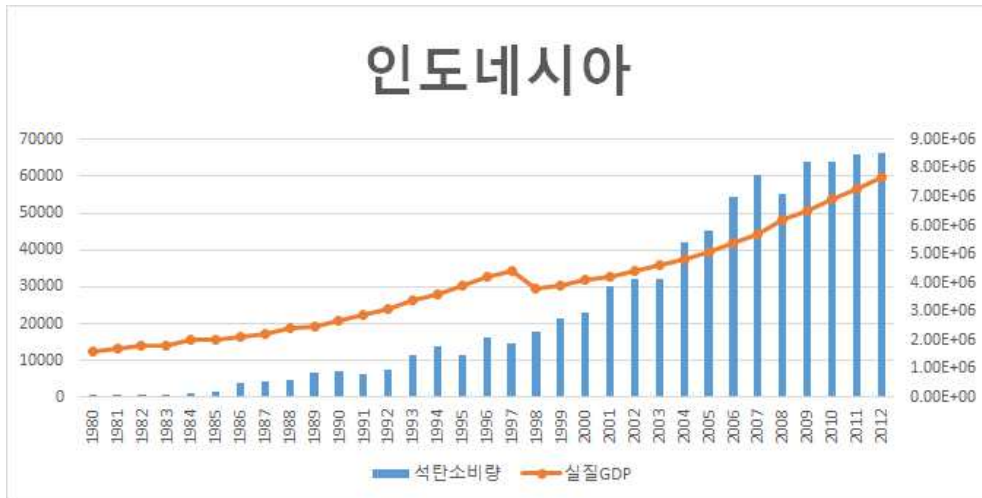
시차	수준변수	1차차분 변수
1	28.0399	-
2	27.9811	
3	27.8940*	
4	28.1124	

### ○ 인과관계 검정 결과 (Economic growth → Coal consumption)

국 가	lag	인과관계	$\chi^2$ 통계량	p-value
홍콩	3	Short-run	<b>9.05**</b>	<b>0.0108</b>
		Long-run	<b>11.63***</b>	<b>0.0006</b>
		Strong	<b>18.38***</b>	<b>0.0004</b>
		Short-run	3.26	0.1963
		Long-run	<b>6.44**</b>	<b>0.0112</b>
		Strong	<b>9.60**</b>	<b>0.0223</b>

## 22) 인도네시아

### ○ 자료



### ○ 시차 결정 (AIC)

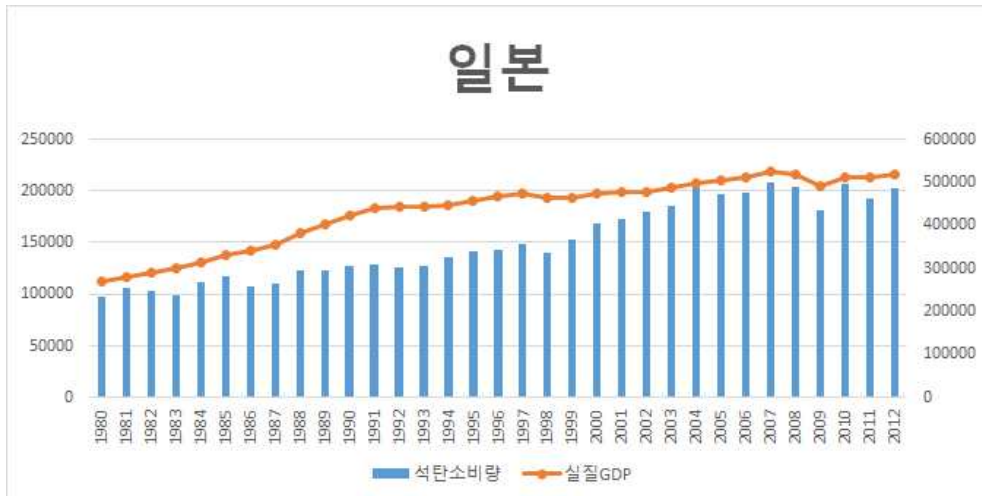
시차	수준변수	1차차분 변수
1	45.9943*	
2	46.0787	
3	46.2791	
4	46.2981	

### ○ 인과관계 검정 결과 (Coal consumption → Economic growth)

국 가	lag	인과관계	$\chi^2$ 통계량	p-value
인도네시아	1	GDP → Coal Long-run	0.77	0.3804
		Coal → GDP Long-run	<b>17.80***</b>	<b>0.0000</b>

## 23) 일본

### ○ 자료



### ○ 시차 결정 (AIC)

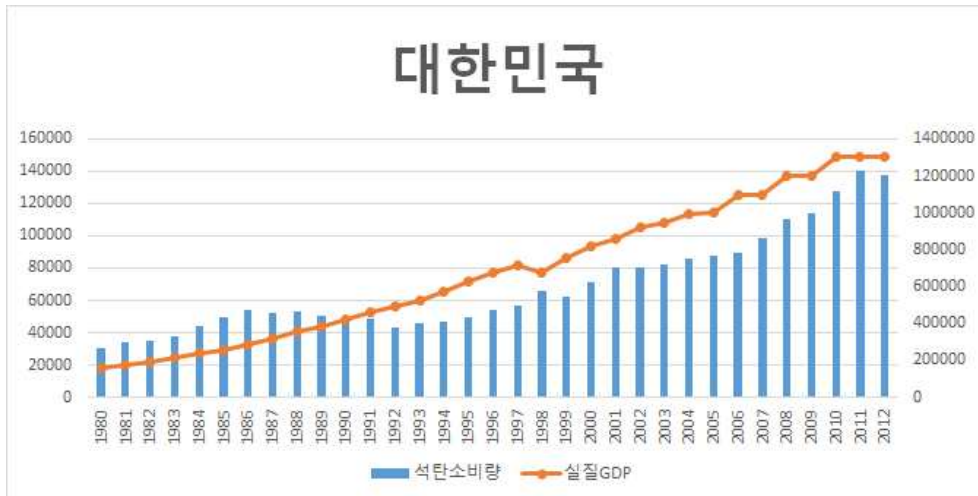
시차	수준변수	1차차분 변수
1	41.9359	41.5552*
2	41.4713*	41.7700
3	41.6793	42.0187
4	41.8215	41.9755

### ○ 인과관계 검정 결과 (no causality)

국 가	lag	인과관계	$\chi^2$ 통계량	p-value
일본	1	GDP → Coal	3.1832	0.074
		Coal → GDP	2.6061	0.106

## 24) 대한민국

### ○ 자료



### ○ 시차 결정 (AIC)

시차	수준변수	1차차분 변수
1	42.8097*	43.4091
2	42.8909	43.4413
3	42.8481	43.3930*
4	42.8991	43.5745

### ○ 인과관계 검정 결과 (Economic growth → Coal consumption)

국 가	lag	인과관계	$\chi^2$ 통계량	p-value
대한민국	3	GDP → Coal	9.537**	0.023
		Coal → GDP	1.5193	0.678

## 25) 말레이시아

### ○ 자료



### ○ 시차 결정 (AIC)

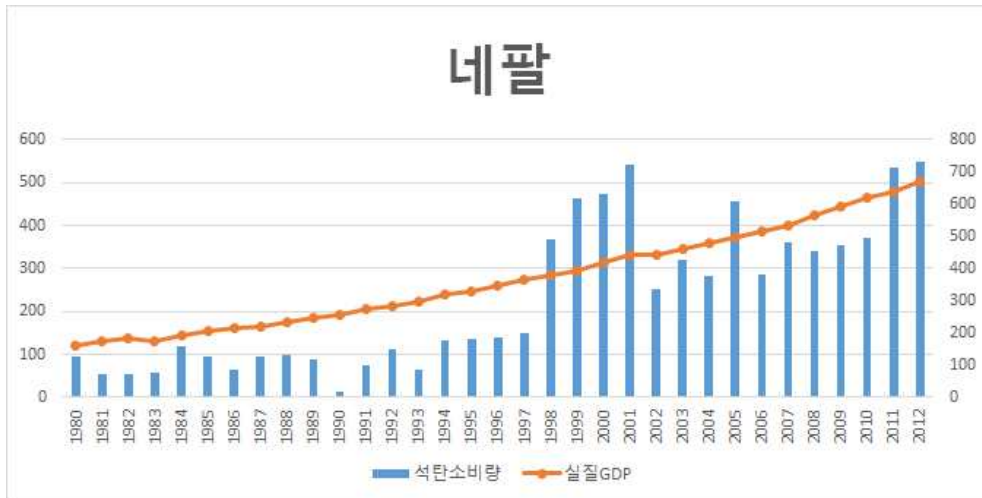
시차	수준변수	1차차분 변수
1	25.7679*	26.4007
2	25.8816	26.5138
3	25.9401	26.3182*
4	26.1142	26.4733

### ○ 인과관계 검정 결과 (no causality)

국 가	lag	인과관계	$\chi^2$ 통계량	p-value
말레이시아	3	GDP → Coal	1.8966	0.594
		Coal → GDP	4.5327	0.209

## 26) 네팔

### ○ 자료



### ○ 시차 결정 (AIC)

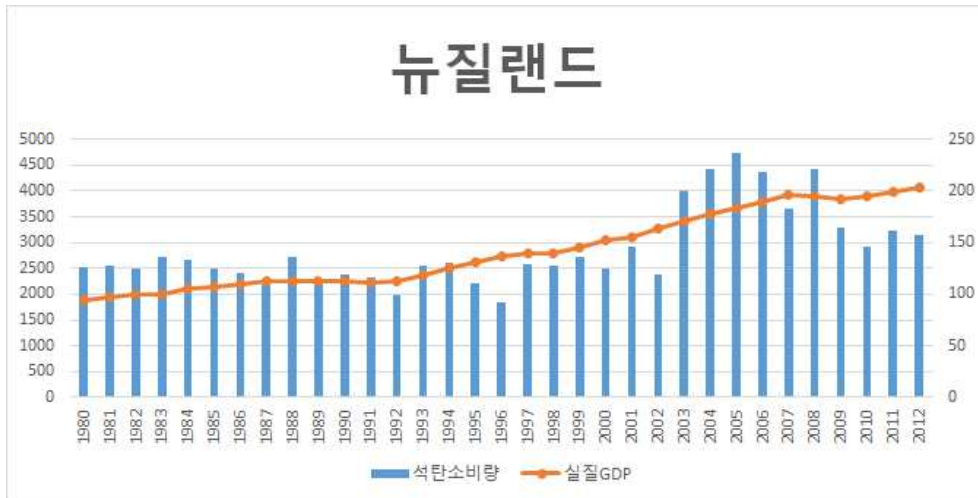
시차	수준변수	1차차분 변수
1	18.3185	
2	18.4443	
3	18.3755	
4	18.1840*	

### ○ 인과관계 검정 결과 (Coal consumption → Economic growth)

국 가	lag	인과관계	$\chi^2$ 통계량	p-value	
네팔	4	GDP → Coal	Short-run	3.11	0.3757
			Long-run	4.44	0.3494
			Strong	3.59	0.0583
		Coal → GDP	Short-run	22.55***	0.0001
			Long-run	37.97***	0.0000
			Strong	38.36***	0.0000

## 27) 뉴질랜드

### ○ 자료



### ○ 시차 결정 (AIC)

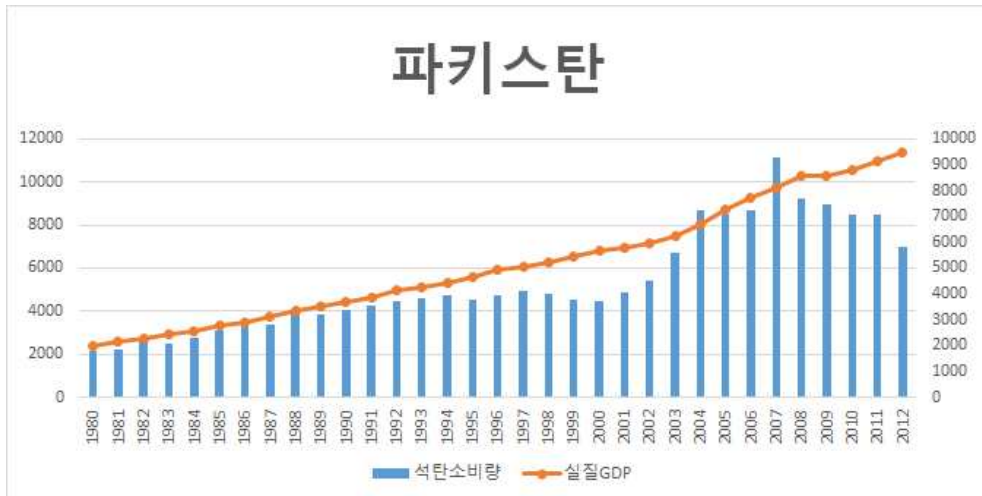
시차	수준변수	1차차분 변수
1	20.4949	20.2609*
2	20.3386*	20.3900
3	20.4282	20.6034
4	20.5841	20.4976

### ○ 인과관계 검정 결과 (Economic growth → Coal consumption)

국 가	lag	인과관계	$\chi^2$ 통계량	p-value
뉴질랜드	1	GDP → Coal	7.1285***	0.008
		Coal → GDP	0.1508	0.698

## 28) 파키스탄

### ○ 자료



### ○ 시차 결정 (AIC)

시차	수준변수	1차차분 변수
1	28.4360	-
2	28.1728	
3	28.2160	
4	27.9217*	

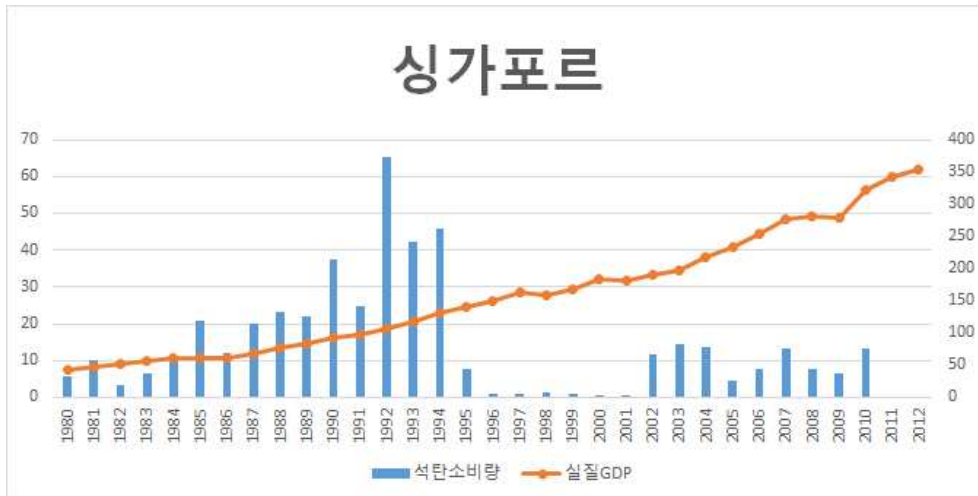
### ○ 인과관계 검정 결과 (Coal consumption → Economic growth)

국 가	lag	인과관계	$\chi^2$ 통계량	p-value
파키스탄	4	Short-run	1.36	0.7140
		Long-run	<b>4.34**</b>	<b>0.0373</b>
		Strong	6.27	0.1799
		Short-run	<b>8.30**</b>	<b>0.0401</b>
		Long-run	<b>8.42***</b>	<b>0.0037</b>
		Strong	<b>27.87***</b>	<b>0.0000</b>



## 29) 싱가포르

### ○ 자료



### ○ 시차 결정 (AIC)

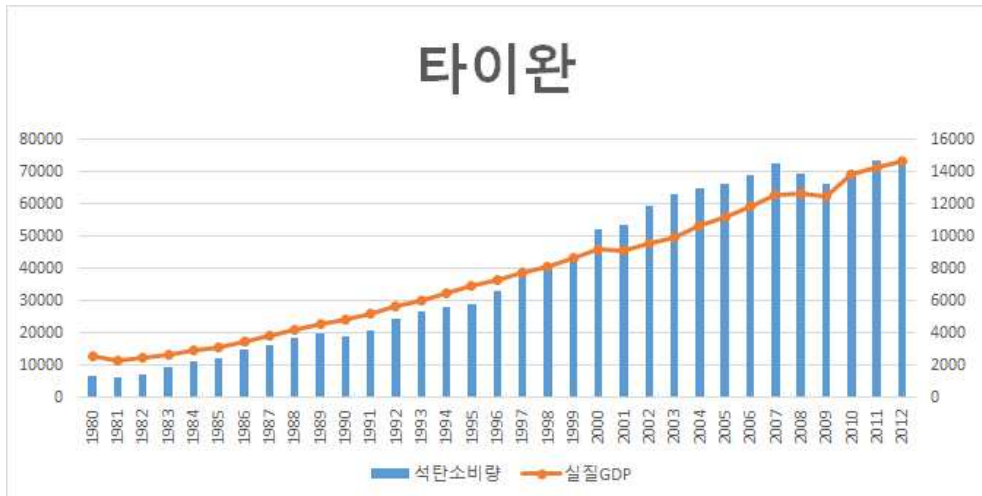
시차	수준변수	1차차분 변수
1	15.4012	-
2	15.1972	
3	14.7956*	
4	14.9651	

### ○ 인과관계 검정 결과 (Coal consumption → Economic growth)

국 가	lag	인과관계	$\chi^2$ 통계량	p-value
싱가포르	3	Short-run	0.39	0.8223
		Long-run	1.60	0.2054
		Strong	4.52	0.2106
		Short-run	<b>6.71**</b>	<b>0.0349</b>
		Long-run	<b>19.80***</b>	<b>0.0000</b>
		Strong	<b>20.61***</b>	<b>0.0001</b>

### 30) 타이완

#### ○ 자료



#### ○ 시차 결정 (AIC)

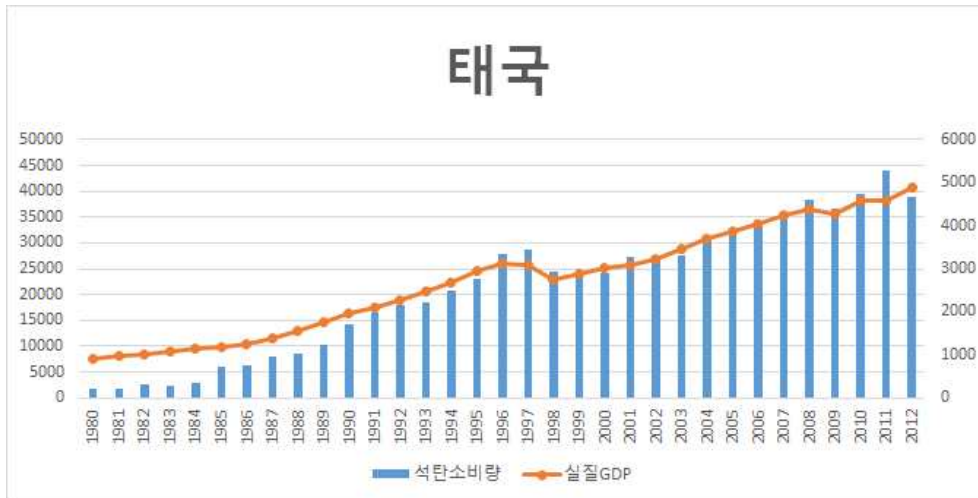
시차	수준변수	1차차분 변수
1	32.2887	32.1841*
2	32.2279	32.1964
3	32.0855*	32.4702
4	32.2656	32.6043

#### ○ 인과관계 검정 결과 (no causality)

국 가	lag	인과관계	$\chi^2$ 통계량	p-value
타이완	1	GDP → Coal	0.6943	0.405
		Coal → GDP	1.6574	0.198

### 31) 태국

#### ○ 자료



#### ○ 시차 결정 (AIC)

시차	수준변수	1차차분 변수
1	30.3149*	-
2	30.4040	
3	30.5594	
4	30.7715	

#### ○ 인과관계 검정 결과 (Economic growth → Coal consumption)

국 가	lag	인과관계		$\chi^2$ 통계량	p-value
태국	1	GDP → Coal	Long-run	<b>22.89***</b>	<b>0.0000</b>
		Coal → GDP	Long-run	1.08	0.2997

나. 분석 대상국에서 제외된 25개 국가의 단위근 검정 결과

○ 종합 판정 결과

국 가	석탄소비량	실질GDP
콜롬비아	I(1)시계열	알 수 없음
페루	I(1)시계열	알 수 없음
우루과이	I(0)시계열	I(1)시계열
베네수엘라	I(0)시계열	I(1)시계열
불가리아	I(1)시계열	알 수 없음
핀란드	I(0)시계열	I(1)시계열
프랑스	알 수 없음	I(1)시계열
그리스	I(0)시계열	알 수 없음
아일랜드	I(1)시계열	알 수 없음
네덜란드	I(1)시계열	알 수 없음
포르투갈	I(1)시계열	알 수 없음
스페인	I(1)시계열	알 수 없음
이집트	I(0)시계열	알 수 없음
케냐	I(1)시계열	알 수 없음
마다가스카르	I(0)시계열	I(1)시계열
나이지리아	I(0)시계열	I(1)시계열
스와질랜드	I(0)시계열	I(1)시계열
탄자니아	I(1)시계열	알 수 없음
방글라데시	I(1)시계열	알 수 없음
부탄	I(1)시계열	알 수 없음
중국	알 수 없음	알 수 없음
인도	I(1)시계열	알 수 없음
몽골	I(1)시계열	알 수 없음
필리핀	I(1)시계열	알 수 없음
베트남	I(1)시계열	알 수 없음

○ 석탄소비량 단위근 검정 결과

국 가	ADF 단위근 검정		PP 단위근 검정		판정 결과
	수준변수	1차 차분변수	수준변수	1차 차분변수	
콜롬비아	0.0539	0.0000***	0.0505	0.0000***	I(1)시계열
페루	0.5449	0.0000***	0.6033	0.0000***	I(1)시계열
우루과이	0.0193**	0.0000***	0.0192**	0.0000***	I(0)시계열
베네수엘라	0.0000***	0.0000***	0.0000***	0.0000***	I(0)시계열
불가리아	0.3636	0.0000***	0.3728	0.0000***	I(1)시계열
핀란드	0.0039***	0.0000***	0.0035***	0.0000***	I(0)시계열
프랑스	0.0750	0.0000***	0.0348**	0.0000***	알 수 없음
그리스	0.0286**	0.0000***	0.0202**	0.0000***	I(0)시계열
아일랜드	0.1407	0.0002***	0.1379	0.0002***	I(1)시계열
네덜란드	0.0702	0.0000***	0.0271**	0.0000***	I(1)시계열
포르투갈	0.3660	0.0000***	0.3658	0.0000***	I(1)시계열
스페인	0.4302	0.0000***	0.3001	0.0000***	I(1)시계열

국 가	ADF 단위근 검정		PP 단위근 검정		판정 결과
	수준변수	1차 차분변수	수준변수	1차 차분변수	
이집트	0.0001***	0.0000***	0.0001***	0.0000***	I(0)시계열
케냐	0.9976	0.0006***	0.9977	0.0004***	I(1)시계열
마다가스카르	0.0392**	0.0000***	0.0448**	0.0000***	I(0)시계열
나이지리아	0.0063***	0.0000***	0.0072***	0.0000***	I(0)시계열
스와질랜드	0.0195**	0.0000***	0.0174**	0.0000***	I(0)시계열
탄자니아	0.7189	0.0000***	0.6513	0.0000***	I(1)시계열
방글라데시	0.9729	0.0000***	0.9963	0.0000***	I(1)시계열
부탄	0.3626	0.0000***	0.3732	0.0000***	I(1)시계열
중국	1.0000	0.0868	1.0000	0.0940	알 수 없음
인도	1.0000	0.0002***	1.0000	0.0001***	I(1)시계열
몽골	0.9748	0.0171**	0.9261	0.0013***	I(1)시계열
필리핀	0.9969	0.0000***	0.9989	0.0000***	I(1)시계열
베트남	0.9952	0.0021***	0.9943	0.0013***	I(1)시계열

○ 실질GDP 단위근 검정 결과

국 가	ADF 단위근 검정		PP 단위근 검정		판정 결과
	수준변수	1차 차분변수	수준변수	1차 차분변수	
콜롬비아	1.0000	0.0770	0.9991	0.0925	알 수 없음
페루	1.0000	0.0596	1.0000	0.0596	알 수 없음
우루과이	0.9990	0.0332**	0.9975	0.0327**	I(1)시계열
베네수엘라	0.9844	0.0002***	0.9873	0.0002***	I(1)시계열
불가리아	0.8650	0.1920	0.6217	0.1754	알 수 없음
핀란드	0.8955	0.0014***	0.8849	0.0018***	I(1)시계열
프랑스	0.8877	0.0010***	0.8887	0.0013***	I(1)시계열
그리스	0.7742	0.5497	0.7101	0.4900	알 수 없음
아일랜드	0.9696	0.1388	0.9450	0.1565	알 수 없음
네덜란드	0.9229	0.0153**	0.9166	0.0219	알 수 없음
포르투갈	0.3255	0.2319	0.5045	0.2044	알 수 없음
스페인	0.8928	0.2576	0.8835	0.2333	알 수 없음

국 가	ADF 단위근 검정		PP 단위근 검정		판정 결과
	수준변수	1차 차분변수	수준변수	1차 차분변수	
이집트	1.0000	0.2477	1.0000	0.1758	알 수 없음
케냐	1.0000	0.0513	1.0000	0.0598	알 수 없음
마다가스카르	0.9904	0.0000***	0.9943	0.0000***	I(1)시계열
나이지리아	1.0000	0.0001***	1.0000	0.0000***	I(1)시계열
스와질랜드	0.4128	0.0035***	0.5599	0.0019	I(1)시계열
탄자니아	1.0000	0.6286	1.0000	0.7706	알 수 없음
방글라데시	1.0000	0.9972	1.0000	0.9988	알 수 없음
부탄	1.0000	0.6120	1.0000	0.7654	알 수 없음
중국	1.0000	0.9491	1.0000	0.9661	알 수 없음
인도	1.0000	0.3965	1.0000	0.5463	알 수 없음
몽골	1.0000	0.3466	1.0000	0.4166	알 수 없음
필리핀	1.0000	0.1278	1.0000	0.1419	알 수 없음
베트남	1.0000	0.8608	1.0000	0.8906	알 수 없음



Abstract

# An International Comparison on Co-integration and Causal Relationship between Coal Consumption and Economic Growth

Ki-Yeol Kim

Department of Energy systems Engineering

The Graduate School

Seoul National University

This study has two purpose. The first one is analyzing cointegration and causal relationship between coal consumption and economic growth of 31 countries. The other one is finding which factor influence on the causal relationship.

Although many studies have been conducted about the causal relationship between coal consumption and economic growth, however, there are few studies which were successful to suggest meaningful criteria that could explain why different causalities occur. To do this, prior studies adopted economic scale. But, It was not successful to explain the difference using economic scale.

This study utilizes coal consumption and real GDP data from 31 countries, and analyzes causal relationships between the two variables for each countries and as groups. For the analysis, the study adopted Granger causality test using VECM and VAR model. The results show that six countries have unidirectional causality from economic growth to coal consumption and eight countries have causality of opposite direction. Also, Brazil, Poland and South Africa have bidirectional causality. However, the others have no causality between the two variables.

To do the international comparison, the study set two hypothesis. At first, environmental regulation would affect the causal relationship. The study use Kyoto-Protocol as instrument variable of environmental regulation. From the comparison, the study found that 10 of 12 countries who has strong regulation don't have any causality. Second hypothesis is that fluctuation of coal thermal power generation ratio in electricity sector could affect the causal relationship. To do the test, the study used average and rate of fluctuation and divide the countries into 4 groups, 1) slow decreasing, 2) rapid decreasing, 3) slow increasing, and 4) rapid increasing. The first and third group tend to have causality from coal consumption to economic growth. In the second group, six of eight countries don't have any causality.

This study have the following major implications:

First, environmental regulation influence the causality between coal consumption and economic growth. Thus, it is vital to consider each country's environmental policy when we study causal relationships between coal consumption and economic growth.

Second, the variation of coal thermal power generation capacity, as well as the ratio of the generation, affect the causal relationships

between two variables. The fact that the variation affects the relationships implies the dynamic nature of energy and economy relations.

**keywords :** Coal consumption, Economic growth, Causality,  
Environmental regulation, Coal thermal power generation

***Student Number :*** 2011-23419